POLITECHNIKA
BYDGOSKA
Wydział Rolnictwa i Biotechnologii

mgr inż. Łukasz Najdowski

Siew dwurzędowy jako element technologii uprawy pszenicy ozimej (*Triticum aestivum* L.)

Promotor:
prof. dr hab. inż. Iwona Jaskulska

Bydgoszcz, 2022

Spis treści

1. WSTĘP 5

2. ZAŁOŻENIA BADAŃ 6

2.1. Przesłanki i przedmiot badań 6
2.2. Problem badawczy 6
2.3. Hipoteza badawcza 6
2.4. Cel główny badań oraz cele szczegółowe 7

3. PRZEGLĄD LITERATURY 8

3.1. Uprawa pszenicy na świecie i w Polsce 8
3.2. Wymagania klimatyczne i glebowe 8
3.3. Elementy agrotechniki pszenicy 10
3.4. Wpływ sposobów siewu na wzrost, plonowanie i cechy jakościowe ziarna pszenicy 14

4. METODYKA BADAŃ 20

4.1. Metoda badawcza 20
4.1.1. Doświadczenie polowe nr 1 20
4.1.2. Doświadczenie polowe nr 2 21
4.1.3. Warunki glebowe 22
4.1.4. Warunki meteorologiczne 23
4.1.5. Oceny, pomiary i analizy roślin, łanu, ziarna 25
4.2. Opracowanie wyników 26

5. OMÓWIENIE WYNIKÓW 27

5.1. DOŚWIADCZENIE NR 1 27
5.1.1. Obsada roślin po wschodach 27
5.1.2. Wskaźnik zieloności liści 28
5.1.3. Długość źdźbła 30
5.1.4. Obsada kłosów 31
5.1.5. Długość kłosa 33
5.1.6. Liczba ziaren w kłosie 34
5.1.7. Masa ziarna z kłosa 36
5.1.8. Plon ziarna 37
5.1.9. Masa tysiąca ziaren 39

5.1.10. Gęstość ziarna w stanie zsypnym 41
5.1.11. Wyrównanie ziarna 42
5.1.12. Zawartość białka w ziarnie 44
5.1.13. Zawartość glutenu mokrego 45
5.1.14. Rozpływalność glutenu....47
5.1.15. Wskaźnik sedymentacji 48
5.1.16. Liczba opadania....50
5.2. Doświadczenie nr 2 51
5.2.1. Obsada roślin po wschodach 51
5.2.2. Wskaźnik zieloności liści 53
5.2.3. Długość źdźbła 54
5.2.4. Obsada kłosów 54
5.2.5. Liczba ziaren w kłosie 54
5.2.6. Masa ziarna z kłosa....55
5.2.7. Plon ziarna....55
5.2.8. Masa tysiąca ziaren....56
5.2.9. Gęstość ziarna w stanie zsypnym 56
5.2.10. Wyrównanie ziarna 57
5.2.11. Zawartość białka w ziarnie....57
5.2.12. Zawartość glutenu mokrego 57
5.2.13. Rozpływalność glutenu....58
5.2.14. Wskaźnik sedymentacji....58
5.2.15. Liczba opadania....59
5.2.16. Zużycie paliwa....59
5.2.17. Czas pracy 60
5.2.18. Rachunek ekonomiczny 60

6. DYSKUSJA 61

7. WNIOSKI 69

8. PIŚMIENNICTWO 71

Spis rysunków 88

Spis tabel 89

Streszczenie 90

Summary 92

1. WSTĘP

Obsada i rozmieszczenie przestrzenne roślin w łanie kształtowane są w momencie siewu. Wpływają one na wielkość powierzchni życiowej pojedynczej rośliny, a przez to na wykorzystanie zasobów siedliskowych, w tym regulowanych przez rolnika, np. w wyniku nawożenia, uprawy roli (Markowski i Rawa 2013).

Wyniki dotychczasowych badań wskazują, że sposób rozmieszczenia roślin pszenicy kształtuje jej: powierzchnię liściową, wysokość roślin, obsadę pędów, długość i masę kłosa, liczbę kwiatów i ziaren w kłosie, a przede wszystkim produkcyjność i plon (Pandey i in. 2013). Nie mniej ważny jest również jego wpływ na cechy jakości ziarna (Lindsey i in. 2016).

W agrotechnice pszenicy stosowane są różne metody siewu, w tym zależne od sposobu uprawy roli i intensywności całej technologii. Teoretycznie najbardziej równomierne rozmieszczenie ziaren zapewnia siew rzutowy. We współczesnej agrotechnice zbóż jest on często stosowany w uprawie tych roślin w międzyplonie, rzadziej w plonie głównym (Krężel i Sobkowicz 1996). Podobny efekt, bardziej równomiernego przestrzennego rozmieszczenia nasion niż przy siewie rzędowym, zapewnia również siew rozproszony, który można wykonać siewnikami zbożowymi wyposażonymi w redlice specjalnej konstrukcji (Roszkowski i Kogut 2001, Lipiński 2006).

Najczęściej wykonywany jest jednak siew rzędowy z równoległym i równo oddalonym od siebie przebiegiem kolejnych rzędów. Ich rozstawa jest natomiast bardzo zróżnicowana i zależna od wielu czynników (Scott i in. 2013). W Polsce zalecana rozstawa rzędów w integrowanej technologii uprawy pszenicy wynosi od kilku do kilkunastu centymetrów (Korbas i Mrowczyński 2014). Jednak w zależności od warunków siedliskowych i agrotechnicznych, występujących także w innych rejonach świata, rzędy lub pasy tej rośliny rozmieszczane są w różnej odległości i konfiguracji (Schillinger i Wuest 2014, Thorsted i in. 2006). Rzędy lub pasy pszenicy mogą mieć także przebieg prostopadły, co jest istotą siewu krzyżowego (Hussain i in. 2003).

Niekiedy stosowane są również metody siewu pszenicy polegające na zróżnicowanej rozstawie rzędów. Dwa rzędy położone są blisko siebie – odległość wynosi kilka-, kilkanaście centymetrów. Parę tę od następnej oddziela natomiast szerokie międzyrzędzie (Senger i in. 2015). Taka metoda siewu zbóż wykorzystywana jest po uproszczonych, także pasowych, sposobach uprawy roli (Cook i in. 2000). W pasie siewnym zawierającym wąskie międzyrzędzia występują najczęściej 2, ale niekiedy także 4 rzędy (Bhunia i in. 2015).

Walorem rozmieszczenia roślin w rzędach o zróżnicowanej szerokości międzyrzędzi jest możliwość wystąpienia efektu brzegowego. Ma on miejsce w rzędach położonych wzdłuż nieobsianych powierzchni, co wynika z lepszego wykorzystania światła, wody i składników pokarmowych. Słabsza konkurencja wewnątrzgatunkowa niż w zwartym łanie umożliwia większą produkcyjność i plonowanie roślin.

2. ZAŁOŻENIA BADAŃ

2.1. Przesłanki i przedmiot badań

Główną przesłanką do podjęcia badań było wdrażanie w świecie i Polsce technologii uprawy zbóż z pasową uprawą roli i jednoczesnym siewem. Ze względów technicznych i ekonomicznych uprawa pasowa wymaga szerokiej, tzn. kilkadziesiąt centymetrów, rozstawy sekcji uprawowych i siewnych. Taka ich odległość i gęstość siewu właściwa dla zbóż powodują nadmierne zagęszczenie ziarna siewnego, a następnie roślin w rzędzie. Dlatego w tych technologiach próbuje się innych niż klasyczny rzędowy sposobów siewu, w tym siew dwurzędowy. Należy zatem w warunkach agrosiedliskowych Polski sprawdzić skutki takiego przestrzennego rozmieszczenia materiału siewnego na cechy morfologiczne, elementy plonowania oraz plon i jakość ziarna zbóż w doświadczeniach poletkowych, jak również w warunkach łanowych w porównaniu z inną technologią uproszczonej uprawy roli i siewu.

Przedmiotem badań była pszenica ozima wysiewana tradycyjnie rzędowo i dwurzędowo.

2.2. Problem badawczy

Problem badawczy można sformułować w formie pytania, które brzmi: Jak siew w podwójnych rzędach i przy różnej gęstości wpłynie na wschody roślin pszenicy ozimej, a następnie jej cechy biometryczne, w tym elementy plonowania, budowę łanu, plon i jakość ziarna w warunkach poletkowych i łanowych?

2.3. Hipoteza badawcza

Rozmieszczenie roślin w podwójnych rzędach z szerokim międzyrzędziem pomiędzy parami tych rzędów umożliwia wystąpienie efektu brzegowego w postaci korzystnych zmian wielkości elementów plonowania, plonu i cech jakości ziarna. Wielkość tych zmian może jednak zależeć od gęstości siewu, gdyż wraz z jej zwiększeniem wzrasta zagęszczenie roślin w rzędzie, co może prowadzić do narastania konkurencji wewnątrzgatunkowej. Uzyskanie nawet plonu nie mniejszego i ziarna nie gorszej jakości, niż w tradycyjnym siewie rzędowym poprzedzonym uproszczoną cało powierzchniową uprawą roli należy uznać za wynik korzystny. Możliwość zastosowania tej metody siewu w technologii pasowej uprawy roli pozwali bowiem ograniczyć zużycie paliwa, skrócić czas pracy i ograniczyć presję na środowisko.

2.4. Cel główny badań oraz cele szczegółowe

Celem głównym badań było określenie wpływu siewu dwurzędowego z szerokim międzyrzędziem pomiędzy parami rzędów na wzrost, plonowanie, jakość ziarna oraz elementy organizacyjno-ekonomiczne uprawy pszenicy ozimej.

Cele szczegółowe zakładały poznanie i ocenę efektów występowania roślin pszenicy w podwójnych rzędach i ich porównanie z efektami tradycyjnego siewu rzędowego przy różnej jego gęstości i sposobie uprawy roli. Ocenione zostały:

- wschody i obsada roślin,
- odżywienie roślin azotem,
- budowa morfologiczna roślin,
- plon,
- cechy jakości ziarna,
- nakłady paliwa,
- czasochłonność,
- nadwyżka bezpośrednia.

3. PRZEGLĄD LITERATURY

3.1. Uprawa pszenicy na świecie i w Polsce

Najstarsze ślady archeologiczne dotyczące uprawy pszenicy przez człowieka pochodzą sprzed 10 tysięcy lat, a odkryto je na obszarze byłego Żyznego Półksiężyca na Bliskim Wschodzie. Są to dzisiejsze tereny: Egiptu, Syrii, Jordanii, Turcji i Iraku (Falkowski i Kostrowicki 2001). Według Lityńskiej-Zając i Wasylikowej (2005) udomowienie zbóż, w tym pszenicy, wynika z braku samoistnej łamliwości osadki kłosowej, zwiększenia wielkości ziarniaków i utraty okresu spoczynkowego. Pszenica towarzyszyła ludzkości przez tysiące lat, przez co stała się najczęściej uprawianą rośliną (Hanckok 2004). Obecnie co roku na świecie wysiewa się prawie 220 mln ha pszenicy, a zbiera około 750 mln ton ziarna, co klasyfikuje ten gatunek na trzecim miejscu za kukurydzą i ryżem. Pszenica jest główną rośliną uprawy polowej na terenach o klimacie umiarkowanym i podzwrotnikowym (Rasmussen i in. 2015). Do obszarów o największej powierzchni uprawy pszenicy zalicza się: tereny Wielkich Jezior i Równin w Ameryce Północnej, południowo-wschodnią Brazylię, Nizinę La Platy w Argentynie i Pampę w Ameryce Południowej, południowo-wschodnią część Australii, Podgórze Kazachskie, Nizinę Mandżurską, Nizinę Chińską, Pendżab w Indiach w Azji, deltę Nilu, Algierię, Maroko i Tunezję w Afryce, a w Europie są to: Nizina Francuska, Nizina Padańska, Wyżyna Bawarska, Nizina Rumuńska, Ukraina i południowo-zachodnia część Rosji (Artyszak i in. 2010). Największymi producentami tego zboża od lat są Chiny, Indie, USA, Rosja i Francja (FAO 2015). W Polsce pszenica uprawiana była już w okresie neolitu i kultury łużyckiej. W XXI wieku powierzchnia zasiewów kształtuje się na poziomie 2,3-2,5 mln ha, co stanowi ponad 20% powierzchni zasiewów, w tym forma jara 0,6-0,8 mln ha. Zbiory łącznie oscylują w granicach 10 mln ton. Główne centra uprawy tego gatunku zlokalizowane są na Nizinie Śląskiej i Szczecińskiej, Wyżynie Lubelskiej, obszarze Kujaw i Żuław (Grzebisz 2011).

3.2. Wymagania klimatyczne i glebowe

Potencjał plonowania roślin uprawnych jest uzależniony m.in. od warunków klimatycznych (Orzech i in. 2009). Przebieg pogody wpływa na wahania plonowania obu form pszenicy. W przypadku pszenicy ozimej istotne znaczenie mają warunki klimatyczne panujące w okresie jesienno-zimowym. Najbardziej korzystna jest długa, ciepła i słoneczna jesień. Duża ilość promieni słonecznych sprzyja przebiegowi fotosyntezy i produkcji potrzebnych asymilatów w liściach zbóż. Jak podaje Artyszak (2006) pszenica ozima powinna osiągnąć do zimy przynajmniej fazę 4–5 liści, aby wytworzyć i zmagazynować potrzebne

metabolity. Dla zbóż ozimych niekorzystne są obfite deszcze w okresie jesiennym, powodujące zaleganie wody na plantacjach. Duże nagromadzenie wody zmniejsza ilość tlenu w glebie, przez co ogranicza rozwój systemu korzeniowego i zaburza procesy metaboliczne zachodzące w roślinie. Z kolei w okresie zimy mogą wystąpić niekorzystne zjawiska związane z przebiegiem pogody takie jak: wymarzanie, wysmalenie, wyprzenie i wysadzanie korzeni. Wymarzanie jest wynikiem działania niskich temperatur na oziminy. Dobrze zahartowana pszenica, przy braku okrywy śnieżnej, wytrzymuje spadki temperatur do -18°C. Zaś okrywa śnieżna o grubości 10-ciu centymetrów w pełni chroni siewki roślin przed działaniem mrozu. Natomiast jej brak, przy jednocześnie występujących silnych, mroźnych wiatrach jest również niebezpieczny, gdyż prowadzi do wysmalania roślin. Zjawisko to najczęściej ma miejsce na zboczach, gdzie rośliny ulegają wysuszeniu i giną. Zaś zbyt gruba warstwa okrywy śnieżnej, długotrwale zalegającej na niezmarzniętej powierzchni gleby, niesie ze sobą ryzyko wyprzenia. W takim przypadku rośliny prowadząc przemiany metaboliczne, zużywają tlen i przechodzą na oddychanie beztlenowe, a wytworzone w tym procesie metabolity doprowadzają do zatrucia i w konsekwencji śmierci roślin. Również niebezpieczne jest zjawisko wysadzania korzeni. Występuje ono, gdy gleba na przemian zamarza i rozmarza powodując uszkodzenie korzeni ozimin przez ich rozerwanie, co w ostateczności doprowadza do śmierci roślin. Opady w okresie zimy stanowią zapas wody, który rośliny ozime mogą wykorzystać po ruszeniu wiosennej wegetacji (Michalski 2004). Pszenica ma dość duże wymagania wodne. Okres krytyczny przypada od fazy krzewienia do kłoszenia. Artyszak (2006) podaje, że pszenica na wytworzenie 1 kg suchej masy potrzebuje 450-500 kg wody. Okres posuszny występujący w maju i czerwcu, może spowodować u roślin redukcję pędów bocznych, a także liczby i wielkości kłosów. Na negatywne skutki braku opadów w tym okresie, bardzo wrażliwa jest zwłaszcza forma jara, ponieważ jej krótki okres wegetacji oraz słabo rozwinięty system korzeniowy, potęgują wielkość strat. Susza na przełomie czerwca i lipca przyczynia się do żółknięcia źdźbeł, zasychania niewykształconych w pełni ziarniaków oraz przedwczesnego dojrzewania.

Pszenica spośród wszystkich gatunków zbóż ma największe wymagania glebowe (Jończyk 1998). Gleby przeznaczane pod tę roślinę powinny cechować się dużą zasobnością w próchnicę, dobrą strukturą, uregulowanym pH w granicach 6,0-7,0. Warunki te spełniają na ogół gleby brunatne, mady, rędziny oraz czarnoziemy i czarne ziemie. Z reguły są to gleby należące do kompleksów: pszennego bardzo dobrego, dobrego oraz żytniego bardzo dobrego, zaliczane do I-IV klasy bonitacyjnej. Pszenicę można uprawiać również na słabszych glebach, pod warunkiem utrzymania gleby w wysokiej kulturze oraz doborze odpowiedniej odmiany (Budzyński i Szempliński 2003).

3.3. Elementy agrotechniki pszenicy

Do najważniejszych elementów agrotechniki zbóż, obok takich zabiegów jak: dobór przedplonu i stanowiska w zmianowaniu, uprawa roli, nawożenie, wybór odmiany, pielęgnacja i zbiór, należy siew. Podczas jego wykonywania determinowana jest wstępnie liczba roślin i kłosów na jednostce powierzchni oraz liczba ziaren w kłosie, które należą do podstawowych komponentów plonowania. Potencjał plonotwórczy pszenicy może ujawnić się w pełni tylko wtedy, gdy zachowany jest jej okres wegetacji, a warunki siedliskowe i agrotechniczne umożliwiają wystąpienie właściwych zmian wzrostowo-rozwojowych związanych z fotoperiodyzmem i jarowizacją. Pszenica cechuje się silną reakcją fotoperiodyczną (Mrówczyński 2013). Termin siewu zależy od warunków klimatycznych panujących na danym obszarze. Przeciętnie siewy pszenicy ozimej w Polsce rozpoczynają się od 5 września w rejonie północno-wschodnim, a kończą 5 października na Nizinie Śląskiej. Pszenica ozima będąc rośliną dnia długiego wytwarza masę wegetatywną w okresie jesieni i wiosny poprzez intensywne krzewienie (Ciesielska i in. 2008). Opóźniony siew przyczynia się do skrócenia okresu rozwoju wegetatywnego, przez co słabo rozwinięte rośliny wchodzą w okres generatywny (Grabiński i in. 2007). Taki stan powoduje zwiększenie podatności na niekorzystne warunki pogodowe, takie jak susza, czy ujemne skutki zimowania.

Głębokość siewu wszystkich podstawowych gatunków zbóż, w tym pszenicy, kształtuje się w zakresie 2-4 cm. Pozwala to na równomierne i szybkie wschody oraz prawidłowy rozwój systemu korzeniowego młodych siewek roślin, a w konsekwencji na wyrównany ich rozwój w łanie i produkcyjność (Nielsen i in. 2016, Nielsen i in. 2018). Umieszczenie ziarniaków w łożu siewnym zbyt płytko bądź za głęboko powoduje nierównomierne wschody. W pierwszym przypadku wynika to ze słabego podsiąku wody kapilarnej powodującego wolniejsze pęcznienie i kiełkowanie. Zaś w przypadku drugim, rośliny po długich i nierównomiernych wschodach, później osiągają kolejne fazy rozwojowe oraz gorzej się krzewią (Kirby 1993). U roślin wysianych zbyt płytko system korzeniowy rozwija się tuż pod powierzchnią gleby, przez co nie jest on w pełni wydolny do pobierania składników pokarmowych oraz wody z głębszych warstw gleby. Rośliny takie są bardziej wrażliwe na uszkodzenia przez przymrozki oraz substancje czynne zawarte w doglebowych środkach ochrony roślin (Hoad i in. 2001). Zbyt płytki siew i jego konsekwencje dla wzrostu i rozwoju systemu korzeniowego powodują, że rośliny są również bardziej podatne na wyleganie i deficyt opadów (Zawora i Ziernicka-Wojtaszek 2005).

Ważnym elementem siewu jest jego gęstość, która w dużym stopniu wpływa na obsadę kłosów. Wyniki wielu badań naukowych wskazują, że optymalna obsada kłosów dla pszenicy ozimej, która gwarantuje wysoki poziom plonowania, powinna wynosić 500-550 szt. m^{-2}, zaś dla formy jarej 600-650 szt. m^{-2} (Rudnicki i in. 1996, Pedersen 1997, Podolska 1998, 2005). Kościelniak i Pyziak (1998) oraz Podolska i Wyzińska (2011) dowodzą, że zwiększanie liczby kłosów na

jednostce powierzchni przyczynia się do zmniejszenia liczby ziaren w kłosie i masy 1000 ziaren, co w konsekwencji może prowadzić do spadku plonu oraz pogorszenia parametrów uzyskanego ziarna. Duże zagęszczenie roślin zbożowych ma negatywny wpływ na ich rozwój w całym okresie wegetacji, wzrasta bowiem liczba źdźbeł na jednostce powierzchni. Dużą część z nich stanowią źdźbła płone, które pobierają bezproduktywnie składniki pokarmowe, limitują ilość światła w łanie oraz zwiększają presję ze strony chorób grzybowych (Weber i Biskupski 2007). Taka plantacja również narażona jest na zjawisko wyprzenia w okresie zimowania czy wyleganie, zwłaszcza w okresie poprzedzającym zbiór. Kościelniak (1999) oraz Dubis i Budzyński (2006) wykazali, że na plon ziarna korzystnie wpłynął siew 320-370 ziarniaków na m^2. Taka gęstość ogranicza redukcję pędów produkcyjnych oraz warunkuje dobry rozwój systemu korzeniowego. Obecnie dostępne są odmiany pszenicy o większych wymaganiach świetlnych niż odmiany tej rośliny dostępne w latach 90-tych XX wieku, w związku z czym zalecane są mniejsze gęstości wysiewu. Rzadszy siew (mniejsza gęstość) przyczynia się do zwiększenia przestrzeni życiowej pojedynczych roślin i zmniejszenia konkurencji osobniczej o wodę, światło i składniki pokarmowe. Łan jest lepiej przewietrzony, występuje w nim mniejsza presja ze strony chorób grzybowych (Maddonni i Martinez-Bercovich 2014, Singels i Smit 2009). Prawidłową, optymalną gęstość siewu ustala się na podstawie wielu czynników, takich jak: termin siewu, rodzaj i kultura gleby, przedplon, poziom stosowanej agrotechniki i warunki atmosferyczne (Spink i in. 2000).

W polskich (Szmigiel 1993, 1997a, b) jak i zagranicznych (Bishnoi i in. 1991) badaniach autorzy wskazują na istotny wpływ kierunku siewu na morfologię roślin, kształtowanie się łanu i plonowanie zbóż, w tym pszenicy (Mohammad-Akbar i in. 2000). Rośliny wysiane w kierunku północ-południe plonują lepiej niż te siane w kierunku wschód-zachód (Pandey i in. 2013, Shekhar i in. 2014). Singh i Kaur (2019) podają, że plon ziarna pszenicy wysianej w orientacji N-S był większy niż W-E i wynosił odpowiednio 39,14 dt ha^{-1} i 37,70 dt ha^{-1}. Analogiczna reakcja pszenicy wystąpiła w odniesieniu do plonu słomy. Plon wyniósł odpowiednio 47,74 dt ha^{-1} i 46,02 dt ha^{-1} na korzyść roślin wysianych w orientacji północ- południe. Jak podaje Kilic (2010) przyrost plonu ziarna pod wpływem właściwego kierunku siewu wynika z większego współczynnika rozkrzewienia, większej liczby kłosów na jednostce powierzchni oraz liczby ziarniaków w kłosie. Ponadto orientacja rzędów N-S wpływa pozytywnie na wskaźnik LAI i skutkuje większą powierzchnią asymilacyjną liści, co przekłada się na zwiększoną produkcyjność, o czym świadczy większa akumulacja suchej masy u tych roślin (Kumar i in. 2012, Radwan i in. 2013). Kierunek siewu północ--południe poprawia warunki świetlne oraz termiczne roślin w łanie, a także wilgotność względną powietrza. Siew w tym kierunku sprzyja również większej masie tysiąca ziarniaków (Hozayn i in. 2012) oraz zawartości białka w ziarnie (Singh i Kaur 2019). Z kolei Yadav i in. (2014) podają, że rośliny wysiane w orientacji północ-południe, stwarzają większą konkurencję chwastom i przez to ograniczają ich występowanie w łanie.

Równie ważnym aspektem agrotechniki związanym z siewem roślin uprawnych jest dobór odpowiedniej szerokości międzyrzędzi. Odległość między rzędami decyduje o wielkości i kształcie powierzchni życiowej pojedynczej rośliny, warunkuje wykorzystanie składników pokarmowych przez rośliny i wpływa na konkurencję między nimi (Alzueta i in. 2012, Das i Yaduraju 2011, Markowski i in. 2013). Jak podają Kumar i in. (2013) szerokość międzyrzędzi powinna wynikać również z indywidualnych preferencji genotypu (odmiany) pszenicy. Wąski rozstaw rzędów preferują odmiany karłowe, zaś te cechujące się wysokim współczynnikiem krzewienia rozwijają się lepiej w rzędach o szerszej rozstawie (Chhokar i in. 2017, Eissa i in. 1995). Ponadto rośliny uprawiane w rzędach o szerszej rozstawie lepiej tolerują stanowiska ubogie w składniki pokarmowe i wodę (Blackwell i in. 2006, Jones i O'Halloran 2006). Jak podają Bowden i Scanlan (2004) w uprawach wysianych w rzędach o szerszych międzyrzędziach woda jest „racjonowana", a jej rezerwy rośliny przeznaczają na wypełnienie ziarna.

Wysiew roślin w rzędach o szerokiej rozstawie wpływa na ich morfologię. Duża ilość docierających promieni słonecznych zwiększa intensywność procesu fotosyntezy i produkcję metabolitów (Eberbach i Pala 2005), nawet w najniższych partiach łanu w czasie formowania ziarna (Ayaz i in. 1999). Zwiększa się także powierzchnia blaszek liściowych i współczynnik LAI (Ghafari i in. 2017). Konsekwencją tych zmian morfologicznych i fizjologicznych jest wzrost zawartości suchej masy roślin (Sharma i in. 2018). Ogunlela i in. (2000) wskazują, że większe odstępy między rzędami w uprawie pszenicy, wpływają na zwiększenie powierzchni życiowej roślin i poprawę krzewienia produkcyjnego. Ponadto pszenica przy szerszej rozstawie rzędów, w porównaniu z roślinami uprawianymi w rzędach o węższej rozstawie, wytwarza większą liczbę dłuższych źdźbeł kłosonośnych (Abbas i in. 2009b, Vijayakumar 2006). Kłosy w takich łanach są dłuższe, o większej liczbie żywotnych kłosków (Borkar i in. 2008), a ziarno jest dorodne i ma większą masę tysiąca sztuk (Iqbal i in. 2010, Singh i Srivastava 1991). Wnioski takie potwierdzają wyniki badań Hussain i in. (2003). Autorzy stwierdzili maksymalną masę 1000 ziaren (48,7 g) pszenicy uprawianej w rzędach o rozstawie 60 cm, a minimalną (43,2 g) w rozstawie 8. centymetrowej. Podobnie Bakht i in. (2007) wykazali, że minimalną masę 1000 ziaren (45,28 g) uzyskano przy wysiewie roślin w rzędach o rozstawie 30 cm, a maksymalną w rzędach o rozstawie wynoszącej 50 cm – 48,43 g. Według Zheng i in. (2013) większe odstępy między rzędami roślin sprzyjają przewietrzeniu łanu, zmniejszają wilgotność roślin i ograniczają tym samym rozwój patogenów.

W literaturze przedmiotu znajdują się rozbieżne opinie badaczy na temat wpływu rozstawy rzędów i szerokości międzyrzędzi na plon ziarna pszenicy. Jak podają Bakht i in. (2007) największy plon ziarna pszenicy uzyskano wysiewając ją w rzędach o rozstawie 30 cm, co jest niezgodne z wynikami badań wielu innych autorów (Freeze i Bacon 1990, Teich i in. 1993, Lafond 1994, Lafond i Gan 1999, Chen i in. 2010). Natomiast Pandey i in. (2013) nie stwierdzili istotnych różnic wielkości plonów przy wysiewie roślin w odstępach między rzędami wynoszących 5, 20 i 25 cm. Podobnie Raj i in. (1992) podają, że odstępy między

rzędami (15, 22,5 i 30 cm) nie miały wpływu na plon ziarna. Riethmuller (2004) jest jednak zdania, że rozstawa rzędów szersza niż 18 cm zmniejsza plon ziarna. Tę tezę potwierdzają również Smith i in. (1995), którzy w swych badaniach stwierdzili, że plon ziarna zwiększył się o 7% przy zmniejszeniu odstępów między rzędami z 18 cm do 9 cm i zmniejszył się o 5%, gdy rozstawę zwiększono z 18 cm do 36 cm. Solie i in. (1991) wskazali, że optymalny odstęp między rzędami pszenicy wynosi 6,6 cm. Deswarte i Gouache (2011) oraz Liu i in. (2016) także wskazują na wąską rozstawę rzędów jako właściwą w agrotechnice tej rośliny zbożowej.

Odstępy między rzędami roślin mają wpływ na plonowanie zbóż poprzez kształtowanie komponentów plonu – elementów struktury plonu. Wynika to głównie z możliwości kompensowania wielkości cech będących wynikiem różnej powierzchni życiowej. Szerokie odstępy między rzędami na ogół mają wpływ na zmniejszenie obsady kłosów, co jednak może być rekompensowane przez większą liczbę ziaren w kłosie i większą masą tysiąca ziarniaków. Hiltbrunner i in. (2005) stwierdzili także większą zawartość białka w ziarnie przy wysiewie roślin w rzędach o szerokiej rozstawie. Według Peltzer i in. (2009) rozstawa rzędów nie ma wpływu na plon, dopóki nie zostanie osiągnięty „próg", powyżej którego dalsze zwiększenie odstępów między rzędami wiąże się z brakiem możliwości kompensacyjnych i zmniejszoną wydajnością. Jak podają Scott i in. (2013), analizując wyniki 89 badań przeprowadzonych na terenie Australii, przy plonach poniżej 700 kg·ha^{-1} odstępy między rzędami wynoszące powyżej 18 cm wpłynęły na jego zwiększenie, natomiast przy wydajności ponad 2000 kg·ha^{-1}, zwiększenie rozstawy rzędów powyżej 18 cm spowodowało zmniejszenie plonu. Również Deswarte i Gouache (2011) w warunkach osiągania dużych plonów (7-12 t ha^{-1}) stwierdzili istotny jego spadek przy zwiększaniu rozstawy rzędów. Dlatego prawdopodobnie w konwencjonalnie prowadzonych uprawach pszenicy odstępy między rzędami wahają się od 8 do 15 cm (Korbas i Mrówczyński 2014), podczas gdy w rolnictwie ekologicznym lub bez uprawy roli mogą wynosić nawet od 35 do 50 cm (Abichou i in. 2019, Barberi 2002).

Z rozstawą rzędów i szerokością międzyrzędzi związany jest efekt brzegowy, który objawia się tym, iż rośliny graniczące z nieobsianą przestrzenią w łanie cechują się większą dorodnością. Przestrzeń taka występuje w bezpośrednim sąsiedztwie ścieżek rozdzielających poletka doświadczalne (Rudnicki i Gałęzewski 2006, Stawiana-Kosiorek i in. 2007). Natomiast w produkcji polowej ujawnia się na obrzeżach pól i wzdłuż ścieżek technologicznych powszechnie zakładanych w celu przejazdu przez łan maszyn rolniczych (Mrówczyński i Pruszyński 2006, Wolny i Tys 2008). Ścieżki i związane z nimi wolne przestrzenie nie tylko ułatwiają pracę maszyn, ale ograniczają uszkodzenia roślin podczas wykonywania zabiegów agrotechnicznych, redukują źródła infekcji (Braun 1978, Braun i Schöne 1973, Gärtig i in. 1980), a także zmniejszają antropopresję i niekorzystny wpływ na glebę (Buliński i Niemczyk 2004, 2009, Brunotte i Sommer 1993, Domsch 1993, Niemczyk 2004, 2007, 2009).

Większa dorodność roślin w bezpośrednim sąsiedztwie wolnych przestrzeni niż wewnątrz zwartego łanu, wynika głównie ze zwiększonej dostępności do zasobów siedliska oraz mniejszej konkurencji roślin o te zasoby. W rezultacie rośliny cechują się lepszym wigorem (Rudnicki i Gałęzewski 2006, 2008a, b, c). Oddziaływanie efektu brzegowego choć ogranicza się zwykle do jednego lub dwóch rzędów przylegających do wolnej przestrzeni, to może istotnie wpłynąć na zmianę (zwiększenie) faktycznego plonu roślin (Pacewicz 2000, Stawiana-Kosiorek i in. 2003). W zależności od gatunku rośliny uprawnej różnica plonu w strefie oddziaływania efektu brzegowego waha się od 30 do 117% – zboża (Hadjichristodoulou 1993, Niemczyk 1996, Ptaszyński 1984), od 71 do 186% – rzepak (Hadjichristodoulou 1993, Niemczyk i Buliński 2012), 22-26% – ziemniak (Helmke i in. 1994, Wolf 2000) i 31-42% – burak cukrowy (Brunotte i Sommer 1993). W przypadku pszenicy ozimej analogiczna wielkość mieści się w szerokim zakresie, od 62 do 113% (Niemczyk 1993, Niemczyk i Radecki 1993a, b, Pacewicz 2000, Stawiana-Kosiorek i in. 2003). Buliński i Niemczyk (2015) podają, że przyrost plonu jako efekt brzegowy wynika z większej liczby kłosów w rzędach sąsiadujących z wolną przestrzenią oraz większej liczby ziaren w kłosie. Przeprowadzone badania wykazały, że na obiekcie ze ścieżkami przejazdowymi w łanie pszenicy ozimej w rzędach skrajnych było o 28% kłosów więcej niż wewnątrz łanu. Również w rzędach kolejnych, sąsiadujących z brzegowymi, obsada kłosów była większa o 16% niż w łanie. Zaś Rudnicki i Gałęzewski (2006) porównując rośliny owsa w doświadczeniu polowym wykazali, że efekt brzegowy wpływa również na cechy pokroju roślin i elementy plonowania takie jak: wysokość roślin, obsadę pędów kłosonośnych, krzewistość produkcyjną, masę ziarna z wiechy, masę pojedynczej rośliny. Owies usytuowany w rzędach przylegających do ścieżek, wykształcił 2,3-krotnie większą biomasę niż ten wewnątrz poletek. Rozkrzewienie roślin przylegających do ścieżek było większe niż roślin w środkowej części poletek, a różnica wyniosła 42,4-126%. Także u innych gatunków zbóż, np. u jęczmienia, Niemczyk i Radecki (1993a, b) stwierdzili bardziej intensywne krzewienie produkcyjne. W cytowanych badaniach autorzy zaobserwowali, że wysokość pędów owsa była zależna od umiejscowienia roślin w łanie. Rośliny owsa w brzeżnych rzędach okazały się wyższe o 16,8% w porównaniu z roślinami rosnącymi w rzędach środkowych. Także wiechy pochodzące ze skraju były bardziej dorodne niż ze środka poletka. Różnica masy ziarna z wiechy w zależności od umiejscowienia wynosiła 39,8%.

3.4. Wpływ sposobów siewu na wzrost, plonowanie i cechy jakościowe ziarna pszenicy

We współczesnej agrotechnice pszenicy stosowane są różne metody siewu, a dobór właściwej odgrywa bardzo ważną rolę w kształtowaniu produkcyjności i plonu (Ali i in. 2012). Determinuje on nie tylko prawidłowe rozmieszczenie roślin na jednostce powierzchni, ale także ma wpływ na przebieg procesów

fizjologicznych i produkcję asymilatów. Ta zaś zależy m.in. od intensywności konwersji energii świetlnej i efektów konkurencji osobniczej (Lal i in. 1991).

Wybór odpowiedniej metody siewu pszenicy zależy od wielu czynników, w tym biologicznych, siedliskowych, agrotechnicznych, organizacyjnych i ekonomicznych, np.: terminu siewu, dostępności wody glebowej w czasie siewu, innych warunków glebowych, ilości pozostałych resztek pozbiorowych na polu, dostępności maszyn do uprawy roli i siewu (Sikander i in. 2003). Najbardziej rozpowszechnionym jest siew rzędowy. Polega on na umieszczeniu nasion w prostych, równoległych do siebie i oddalonych w jednakowych odległościach rzędach na ustalonej głębokości za pomocą siewnika rzędowego (Singh i in. 1994). Obsadę roślin ustala się poprzez zmianę ich zagęszczenia w rzędzie. Rozstawa rzędów natomiast może być bardzo zróżnicowana. W Polsce zalecana rozstawa rzędów w integrowanej technologii uprawy pszenicy wynosi 8-15 cm (Korbas i Mrówczyński 2014). Jednak w zależności od warunków siedliskowych i agrotechnicznych występujących w różnych rejonach świata, rzędy tej rośliny rozmieszczane są co kilka (Hickey i in. 2011), kilkanaście (Świętochowski i in. 1996), kilkadziesiąt (Abbas i in. 2009 a, Hussain i in. 2016), a nawet 60-80 centymetrów (Schillinger i Wuest 2014). Ziarno siewne może być także umieszczane w równoległych pasach o szerokości 3-6 cm (Thorsted i in. 2006).

Innym sposobem siewu roślin jest siew krzyżowy polegający na wysiewie roślin w rzędach, które się krzyżują tworząc jednolitą siatkę. Przeprowadza się go wzdłuż i w poprzek pola, przez co rzędy przecinają się pod kątem prostym lub zbliżonym do niego. Rozmieszczenie materiału siewnego jest bardziej równomierne, a zagęszczenie roślin w rzędach ulega zmniejszeniu w porównaniu z innymi metodami siewu. W siewie krzyżowym odległość między roślinami w rzędzie jak i pomiędzy rzędami jest bardziej wyrównana, z wyjątkiem miejsc przecinania się rzędów. Taki ich rozkład przestrzenny gwarantuje równy dostęp roślin do zasobów środowiska, znacznie ogranicza ich straty w czasie wschodów (Thapa i in. 2011) oraz zwiększa krzewistość roślin w porównaniu np. do siewu rzędowego (Hussain i in. 2010). Jak podają Fasoula i Fasoula (1997), jednorodność populacji sprzyja równomiernemu rozkładowi światła słonecznego w łanie, przyczynia się do wzrostu powierzchni liści (LAI), poprawia wydajność przechwytywania światła słonecznego oraz intensyfikuje aktywność fotosyntetyczną (Kazi i in. 2012), o czym świadczy wzrost produktywności i przyrost biomasy (Cox i Cherney 2011). Efekty te prowadzą do zmian w architekturze łanu oraz budowie kłosa (Zheng i in. 2013), a ostatecznie zwiększają plon rośliny uprawnej (Chen i in. 2008). Utrzymanie pełnej, zakładanej obsady roślin, daje szansę uzyskania maksymalnej liczby kłosów na jednostce powierzchni (Ahmed i in. 1995, Khan i in. 2000), co przekłada się na możliwość wykorzystania w pełni potencjału produkcyjnego tkwiącego w danym genotypie (Panwar i in. 1995, Parihar i Singh 1995). Arif i in. (1997) podają, że technika siewu krzyżowego zwiększyła plon ziarna w porównaniu z normalną techniką siewu. W wielu publikacjach naukowych wykazano wzrost plonu pszenicy o 4–18% przy siewie krzyżowym w porównaniu do siewu rzędowego (Jadho i Nalamwar 1993, Kaur i in. 2014,

Suryawanshi i in. 2013). Kristensen i in. (2008) i Khan i in. (2000) wskazują, iż siew krzyżowy zwiększa zdolność konkurencyjną pszenicy względem chwastów, poprzez zapewnienie, jak twierdzą Hussain i in. (2017) oraz Weiner i in. (2001), przestrzennej jednorodności uprawy. Również Pandey i Kumar (2005) stwierdzili, że siew krzyżowy istotnie przyczynił się do zmniejszenia liczby chwastów na jednostce powierzchni w porównaniu z siewem rzutowym.

Kolejną metodą wysiewu nasion jest siew rzutowy, który swój początek ma w momencie, gdy człowiek pierwotny porzucił koczowniczy tryb życia na rzecz osadnictwa, zapoczątkowując rewolucję neolityczną. Człowiek, wzorując się na naturalnym procesie osypywania się nasion, sam zaczął wykonywać siew ręcznie. Nasiona na polu rozkładały się w sposób losowy, przez co odległości między osobnikami były nieregularne, a zagęszczenie roślin na jednostce powierzchni nierównomierne (Johansen i in. 2012). Nasiona, które pozostały na powierzchni gleby były wyjadane przez ptactwo bądź zmyte przez ulewne deszcze podczas burz. Słaby kontakt nasion z glebą oraz różna głębokość zalegania nasion w glebie prowadziły do nierównomiernych wschodów (Chandel i Tewari 2014). Występowała wówczas duża konkurencja między roślinami, zwłaszcza w miejscach, gdzie obsada była zbyt duża. Przy tej metodzie zaleca się zwiększyć normę wysiewu o 20-50% w porównaniu z siewem rzędowym (Jeffers i Beuerlein 2001, Kearney i in. 2006). Na przestrzeni tysięcy lat, wraz z postępem cywilizacyjnym i rozwojem technologii uprawy roli, również siew rzutowy ewoluował. Wprowadzenie innowacyjnych rozwiązań przyczyniło się do wzrostu popularności tej metody, szczególnie w gospodarstwach wielkoobszarowych, jak i przy wysiewie międzyplonów ścierniskowych (Brennan i Leap 2014). Nasiona są rozsiewane na powierzchni gleby za pomocą specjalnego siewnika, przypominającego budową rozsiewacz nawozów, o nisko osadzonych talerzach rzutowych. Talerze te, w liczbie 6-8 sztuk, są umieszczone na wysokości około 0,5 metra nad powierzchnią pola oraz zamontowane wraz ze skrzynią nasienną na przednim trzypunktowym układzie zawieszenia ciągnika (Herbek i Murdock 2009). Takie innowacyjne rozwiązanie przynosi wiele korzyści, tj. zwiększa wydajność pracy, ogranicza zużycie paliwa oraz umożliwia połączenie uprawy z siewem. Lekką uprawę roli, w celu równomiernego przykrycia nasion, wykonuje się poprzez zastosowanie maszyn doprawiających, np. bron talerzowych bądź łopatkowych, które przykrywają ziarno na głębokość 1,5-2,0 cm (Krężel i in. 1999, Weede i in. 2011). Aby zwiększyć równomierność pokrycia powierzchni gleby stosuje się również wysiew nasion zmieszanych z nawozami mineralnymi o zbliżonej granulacji. Uzyskaną mieszaninę rozsiewa się wzdłuż i w poprzek pola, a dawkę zmniejsza o połowę dla każdego przejazdu. Metoda ta poprawia równomierność rozmieszczenia materiału siewnego na powierzchni pola, ale wydłuża czas potrzebny do jego wysiewu. Nasiona, tuż przed aplikacją, należy wymieszać z nawozem mineralnym i w krótkim odstępie czasu dokonać wysiewu. Jak podają Soratto i in. (2003) dłuższy niż ośmiogodzinny wzajemny ich kontakt może spowodować uszkodzenie nasion (zmniejszenie zdolności kiełkowania), a w kon-

sekwencji słabe wschody. Szczególnie szkodliwe są takie nawozy jak superfosfat potrójny lub fosforan amonu.

Modyfikacją siewu rzędowego jest siew gniazdowy o szerokiej rozstawie zarówno rzędów, jak i nasion w rzędzie. W określonych odstępach w rzędzie umieszcza się nie jedno, lecz po kilka nasion. Ten rodzaj siewu powszechnie stosuje się w uprawie niektórych warzyw (dynia, ogórek). Siew gniazdowy również znalazł swoje zastosowanie w uprawach o małej populacji roślin na obszarach suchych, gdzie występuje silny stres wodny. Wysiew od trzech do czterech nasion w gnieździe zwiększa konkurencję między roślinami, powodując efektywne wykorzystanie dostępnej wody glebowej. Ponadto masa wegetatywna jest mniejsza, głównie z powodu słabszego krzewienia (Stewart 2009). Niektóre badania sugerują, że rośliny wysiane w gniazdach plonowały lepiej niż te wysiane w rzędach. Badacze argumentują ten fakt tym, iż na skutek ograniczenia wzrostu wegetatywnego podczas wczesnych etapów rozwoju, rośliny pobierają mniej wody z gleby, która może być wykorzystana w fazach generatywnych, w tym na etapie nalewania ziarna (Krishnareddy 2009, Mohammed i in. 2012, Shuting 1993, Thapa i in. 2016). Geometria rozmieszczenia gniazd i układ roślin w gnieździe tworzą łan o złożonej architekturze kształtowanej przez budowę i organizację komponentów pojedynczych roślin (Thapa i in. 2017). Według Kapanigowda i in. (2010) kukurydza wysiana gniazdowo, w porównaniu do wysianej rzędowo w równomiernych odstępach, wytworzyła mniejszą liczbę pędów, cechowała się szybkim wzrostem wegetatywnym i wyższym wskaźnikiem powierzchni liści (LAI), dzięki czemu w fazie formowania ziarna efektywnie wykorzystywała wodę zgromadzoną w glebie. W omawianym dwuletnim doświadczeniu przeprowadzonym w Teksasie kukurydza wysiana gniazdowo plonowała w zależności od roku badań na poziomie 321 g m^{-2} i 454 g m^{-2}, natomiast plon ziarna kukurydzy uprawianej rzędowo wyniósł odpowiednio 225 g m^{-2} i 292 g m^{-2}. Podobną reakcję na metodę siewu zaobserwowano u sorgo, o czym świadczą wyniki badań przedstawione przez Bandaru i in. (2006). Autorzy wykazali, że siew sorgo w gniazdach liczących od trzech do sześciu nasion zmniejszył liczbę łodyg do około jednej na roślinę w porównaniu do roślin równomiernie rozmieszczonych w rzędach, które posiadały po trzy łodygi. W przypadku siewu w gniazdach plon ziarna sorgo był nawet o 100% większy niż w skutek siewu rzędowego, ale gdy plon nie przekraczał 1000 kg ha^{-1}. Przyrost plonu na poziomie od 25 do 50% uzyskano na plantacjach plonujących od 2000 do 3000 kg ha^{-1}. Brak istotnych różnic stwierdzono natomiast dla upraw, których plon był większy niż 5000 kg ha^{-1}. Uzyskane wyniki, podobnie jak w przypadku kukurydzy sugerują, że wysiew sorgo w gniazdach zamiast w równomiernych odstępach w rzędzie prowadzi do oszczędnego gospodarowania wodą, przez co może zwiększać plon ziarna w latach suchych.

Siew pszenicy może być wykonywany nie tylko na płaskiej powierzchni pola, ale również na specjalnie formowanych wzniesieniach gleby – redlinach, zagonach (Fahong i in. 2003) bądź w ukształtowanych bruzdach (Ghane 2011). Siew na wzniesieniach jest stosowany głównie w celu bardziej efektywnego

wykorzystania wody i azotu (Freeman i in. 2007, Idnani i Kumar 2012, Majeed i in. 2015) na terenach, gdzie występuje duży deficyt wodny np. obszary półpustynne, o pagórkowatym ukształtowaniu terenu (Ali i in. 2017). Na uformowanych zagonach umieszcza się najczęściej 3-6 rzędów, a sąsiednie zagony rozdziela kilkudziesięciocentymetrowa bruzda (Waraich i in. 2010, Chauhdary i in. 2014). Jak podaje Dagash i in. (2014) wysiew pszenicy na uformowanych grzbietach wpłynął na przyrost biomasy z jednostki powierzchni, masy tysiąca ziaren oraz wysokości roślin w porównaniu z tradycyjnym siewem rzędowym.

W niektórych warunkach siedliskowych i agrotechnicznych siew w bruzdach jest korzystniejszy niż tradycyjny siew na płaskiej powierzchni i prowadzi do zwiększenia plonów (Kilic 2010, Naresh i in. 2014, Singh i in. 2016). Ta metoda siewu powoduje większą produkcję biomasy i poprawę parametrów jakościowych ziarna (Zhang i in. 2007). Wnioski takie wynikają z badań Li i in. (2010) przeprowadzonych na terenie równiny Huang-Huai-Hai w północnych Chinach. Wysiew pszenicy w bruzdach, co 20 cm, spowodował zwiększenie plonu ziarna o 37% w porównaniu z siewem na płaskiej powierzchni o takiej samej rozstawie rzędów. Siew w bruzdach wpłynął także na poprawę walorów wypiekowych mąki. Ziarno zawierało bowiem więcej gliadyny i glutenu, odpowiednio o 4,67% i 5,85%. Ghane i in. (2011) analizując wpływ siewu bruzdowego pszenicy w rozstawie co 60 cm stwierdził, oprócz przyrostu plonu o 12,5%, większe wartości masy tysiąca ziaren i zawartość białka w ziarnie. Według Dagash i in. (2014) oraz Khan i in. (2007) rośliny wysiane w bruzdach cechuje większa zawartość chlorofilu w liściach, a tym samym posiadają one potencjał do intensywnej fotosyntezy i produkcji asymilatów. Siew na zagonach czy w bruzdach wymaga jednak użycia specjalistycznego sprzętu do formowania odpowiedniego kształtu łoża siewnego oraz wykonania samego siewu o przyjętych parametrach (Majeed i in. 2015).

Niekiedy stosowane są również metody siewu roślin w rzędach o zróżnicowanej rozstawie. Najczęściej dwa rzędy położone są stosunkowo blisko siebie – odległość wynosi kilka-, kilkanaście centymetrów, a parę tę od następnej oddziela szersze międzyrzędzie (Senger i in. 2015). Taki układ przestrzenny powoduje zagęszczenie osobników w rzędzie, co zwiększa konkurencję wewnątrzgatunkową o wodę, światło i składniki pokarmowe. By ją ograniczyć pozostawia się szerszy nieobsiany odstęp, którego wprowadzenie ma za zadanie, choćby w pewnym stopniu, ograniczyć negatywne skutki rywalizacji roślin w rzędach. Siew dwurzędowy wykorzystywany jest powszechnie w uprawach takich roślin jak: orzeszki ziemne (Balkcom i in. 2010, Culbreath i in. 2008), bawełna (Reddy i Boykin 2010), soja (Koger 2007) i kukurydza (Jeschke 2010). W przypadku tej ostatniej uprawy uzyskuje się plon ziarna na podobnym poziomie (Novacek i in. 2013), bądź znacznie większy (Ebelhar i Clark 2010) niż w rezultacie tradycyjnego siewu rzędowego. Również plon zielonej masy kukurydzy, powszechnie pozyskiwanej na cele paszowe, może być istotnie większy. Potwierdzają to wyniki badań przeprowadzonych na północnych terenach obszaru Corn Belt w USA, gdzie przyrost plonu wyniósł 9% w stosunku do siewu tradycyjnego (Stahl i in.

2009). Jak podają Novacek i in. (2013) konsekwencją siewu dwurzędowego mogą być zmiany morfologiczne roślin. Do najważniejszych należą przyrost wielkości liści oraz grubości łodyg (Gozubenli i in. 2004, Robles i in. 2012). Siew dwurzędowy sprzyja również rozwojowi systemu korzeniowego, zwiększa masę korzeniową (Fayed i in. 2018), a przez to ogranicza wyleganie roślin (Pedersen i Lauer 2002).

4. METODYKA BADAŃ

4.1. Metoda badawcza

W celu weryfikacji przyjętej hipotezy badawczej wykonano dwa doświadczenia polowe. W pierwszym z nich badano wpływ siewu dwurzędowego i jednorzędowego po klasycznej, płużnej uprawie roli na wzrost i plonowanie pszenicy ozimej w zależności od gęstości siewu, zaś w drugim siew dwurzędowy pszenicy ozimej po pasowej uprawie roli porównywano z siewem rzędowym po bezpłużnej uprawie cało powierzchniowej. Poznaniu przyczyn reakcji roślin lub ich braku na stosowane technologie służyły pomiary i analizy materiału roślinnego pod kątem wzrostu, plonowania, jakości ziarna oraz aspektów organizacyjno-ekonomicznych uprawy pszenicy ozimej.

4.1.1. Doświadczenie polowe nr 1

Dwuczynnikowe doświadczenie polowe wykonano w latach 2016-2019. Eksperyment zlokalizowano w stacji badawczej w Mochełku (53°21′83″N; 17°87′22″E) należącej do Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy (Politechnika Bydgoska).

Czynniki doświadczalne i ich poziomy:
I czynnik (A) – sposób siewu:
- siew dwurzędowy,
- siew jednorzędowy;

II czynnik (B) – gęstość siewu:
- 200 ziaren·m^{-2},
- 350 ziaren·m^{-2},
- 500 ziaren·m^{-2}.

Obiekty doświadczalne rozmieszczano w układzie losowanych bloków w 6. powtórzeniach. Wielkość poletka wynosiła 3 m x 12 m, a jego powierzchnia 36 m^2.

Rośliną przedplonową dla pszenicy ozimej w każdym roku był rzepak ozimy. Uprawę roli, przedsiewną aplikację nawozów mineralnych oraz siew pszenicy ozimej, w zależności od czynników doświadczenia, wykonywano przy użyciu maszyn i narzędzi stosowanych w praktyce rolniczej. W badaniach występowała pszenica ozima 'Arkadia', wysiewana w zależności od roku badań: 23 września 2016 roku, 21 września 2017 roku i 20 września 2018 roku. W każdym roku używano kwalifikowany materiał siewny o zdolności kiełkowania minimum 96% i czystości 99%, zaprawiony preparatem Kinto Duo 080 FS. Rozstawa rzędów na obiektach z siewem rzędowym wynosiła 10,3 cm, a w siewie dwurzędowym 10,3 cm pomiędzy rzędami w pasie i 20,6 cm pomiędzy sąsiednimi pasami.

Nawożenie przedsiewne stosowano w formie nawozu wieloskładnikowego Polifoska 8 (NPKS 8:20:30), w dawce 250 kg ha^{-1}. Nawożenie pogłówne azotem w postaci saletry amonowej stosowano wiosną w dwóch dawkach: faza BBCH 25-28 – w momencie wznawiania wegetacji (60 kg N ha^{-1}) i BBCH 32-33 (60 kg N ha^{-1}). W okresie wegetacji rośliny chroniono przed agrofagami zgodnie z zasadami Integrowanej Ochrony Roślin. Zabieg przeciwko chwastom jedno- i dwuliściennym wykonywano jesienią przy użyciu dopuszczonych do stosowania substancji czynnych; diflufenikan, izoproturon lub chlorotoluron w dawkach odpowiednio 125 g, 625g/800 g ha^{-1}. Występowanie chorób w okresie wegetacji BBCH 32-33 ograniczano przy użyciu fungicydu Tilt Turbo 575 EC w dawce 0,8 l ha^{-1}. W doświadczeniu nie aplikowano retardantów. Insektycyd (s. cz. deltametryna – 5 g ha^{-1}) zastosowano w 2018 roku. Pszenicę ozimą zbierano w pełnej dojrzałości roślin, przy wilgotności ziarna 13-15% z powierzchni całych jednostek doświadczalnych. Zbioru dokonywano, w zależności od roku badań, pomiędzy 20 lipca a 3 sierpnia.

4.1.2. Doświadczenie polowe nr 2

W latach 2016-2019 przeprowadzono jednoczynnikowe doświadczenie łanowe. Eksperyment zlokalizowano w gospodarstwie rolnym w Śmielinie (53°09′04″N; 17°29′11″E), gmina Sadki. Czynnikiem doświadczalnym był sposób siewu i uprawy roli:

- siew dwurzędowy po pasowej uprawie roli,
- siew jednorzędowy poprzedzony cało powierzchniową uprawą bezpłużną.

Obiekty doświadczalne zlokalizowano na poletkach o wymiarze 12 m x 500 m w układzie losowanych bloków, w 3. powtórzeniach.

Przedplonem w pierwszym roku badań była pszenica ozima, a w dwóch kolejnych rzepak ozimy. Zabiegi bezpłużnej uprawy roli wykonywano przy użyciu kultywatora Horsch Tiger 6 AS, aplikację nawozów mineralnych za pomocą rozsiewacza Amazone ZG-TS 8200, a przygotowanie łoża siewnego i siew agregatem Horsch Pronto 4DC. Rozstawa rzędów wynosiła 14,3 cm. W pasowej uprawie roli spulchniano tylko pasy gleby o szerokości około 12 cm na głębokość 20 cm. Rozstawa dwóch rzędów roślin w jednym pasie uprawionej gleby wynosiła 12 cm, a ich odległość do sąsiedniego rzędu w kolejnym pasie 24,4 cm.

W doświadczeniu występowała pszenica ozima 'Apostel'. Siew wykonano 15 września 2016 roku, 18 września 2017 roku i 14 września 2018 roku. Gęstość siewu, niezależnie od sposobu uprawy roli i siewu, wynosiła 300 ziaren m^{-2}. Na obu poziomach czynnika doświadczalnego stosowano 356 kg NPK na ha, w tym bezpośrednio przed siewem 27 kg N ha^{-1}, 69 kg P_2O_5 ha^{-1}, 120 kg K_2O ha^{-1}. W uprawie pasowej azot w dawce przedsiewnej i fosfor stosowano w pasy uprawianej gleby w momencie siewu podczas jednego przejazdu agregatu Mzuri Pro-Til 4T. W uprawie bezpłużnej nawozy wysiewano na całą powierzchnię pola. Azot pogłównie stosowano w dwóch dawkach po 70 kg N ha^{-1}, bezpośrednio po wznowieniu wegetacji wiosną i przed kłoszeniem – BBCH 38-39.

Występowanie agrofagów ograniczano chemicznie zgodnie z aktualnymi zaleceniami i instrukcjami stosowania. Aplikowano substancje czynne herbicydów – jesienią w fazie BBCH 13-15 diflufenikan + florasulam + penoksulam, 100 g ha^{-1}, 3,75 g ha^{-1}, 15 g ha^{-1} i 69 g ha^{-1}. Z substancji czynnych fungicydów używano: protiokonazol 150 g ha^{-1}, biksafen 75 g ha^{-1}, spiroksamina 375 g ha^{-1} oraz fluoksastrobina 100 g ha^{-1} + protiokonazol 100 g ha^{-1}. Szkodniki zwalczano w 2018 i 2019 roku – deltametryna 5,0 g ha^{-1}. Corocznie w fazie BBCH 31 stosowano regulator wzrostu, s.cz. chlorek chloromekwatu – 1125 g ha^{-1}.

Zbioru pszenicy ozimej dokonano z powierzchni całych poletek w pełnej dojrzałości przy wilgotności ziarna maksymalnie 15%. Było to w kolejnych latach badań odpowiednio: 27 lipca, 12 sierpnia, 6 sierpnia.

4.1.3. Warunki glebowe

W obu doświadczeniach określono podstawowe właściwości fizykochemiczne gleby. Analizę składu granulometrycznego wykonano przy użyciu dyfrakcyjnego laserowego analizatora wielkości cząstek Mastersizer 3000 (Malvern Instrument, UK). Z właściwości chemicznych określono: zawartość węgla organicznego – analizatorem Vario Max CN (Elementar, Niemcy), pH w 1 M KCl – metodą potencjometryczną (PN-ISO 10390), zawartość przyswajalnych form fosforu (PN-R-04023, 1996) i potasu (PN-R-04022, 1996) – metodą Egnera-Riehma, zawartość przyswajalnego magnezu (PN-R-04020, 1994) – metodą Schachtschabela.

Gleba (Luvisol) w Mochełku – doświadczenie nr 1 należy do podgrupy granulometrycznej glina piaszczysta, a jej właściwości w warstwie uprawnej 0-20 cm przedstawia tabela 1. Zgodnie z klasyfikacją rolniczą gleba ta należy do kompleksu żytniego bardzo dobrego, klasy bonitacyjnej IVa.

Tabela 1. Właściwości gleby (0-20 cm) w doświadczeniu nr 1

Właściwość	Rok badań		
	2016/2017	2017/2018	2018/2019
Uziarnienie (%):			
piasek (2-0,05 mm)	56,9	61,0	57,1
pył (0,05-0,002 mm)	38,2	33,8	37,8
ił (<0,002 mm)	4,9	5,2	5,1
pH_{KCl}	6,12	5,73	5,90
Węgiel organiczny (g C kg^{-1} gleby)	9,37	8,86	9,51
Azot ogólny (g N kg^{-1} gleby)	0,85	0,81	1,02
Przyswajalne formy:			
fosfor (mg P kg^{-1} gleby)	105,2	84,9	88,5
potas (mg K kg^{-1} gleby)	173,3	113,7	148,0
magnez (mg Mg kg^{-1} gleby)	38,6	32,0	41,1

Doświadczenie polowe nr 2 założono na glebie Haplic Luvisol o składzie granulometrycznym gliny piaszczystej, należącej do kompleksów pszennego dobrego i żytniego bardzo dobrego, klas bonitacyjnych IIIb, IVa i właściwościach przedstawionych w tabeli 2.

Tabela 2. Właściwości gleby (0-20 cm) w doświadczeniu nr 2

Właściwość	Rok badań		
	2016/2017	2017/2018	2018/2019
Uziarnienie (%):			
piasek (2-0,05 mm)	51,3	48,6	47,0
pył (0,05-0,002 mm)	44,1	46,6	49,1
ił (<0,002 mm)	4,6	4,8	3,9
pH_{KCl}	6,72	6,54	6,56
Węgiel organiczny (g C kg^{-1} gleby)	10,51	10,20	10,07
Azot ogólny (g N kg^{-1} gleby)	1,04	1,10	1,02
Przyswajalne formy:			
fosfor (mg P kg^{-1} gleby)	112,4	96,5	120,3
potas (mg K kg^{-1} gleby)	185,9	204,7	170,1
magnez (mg Mg kg^{-1} gleby)	68,2	73,3	59,6

4.1.4. Warunki meteorologiczne

Warunki meteorologiczne – temperaturę powietrza i opady atmosferyczne analizowano w oparciu o dane ze stacji zlokalizowanej w Mochełku koło Bydgoszczy. Dane miesięczne – średnie temperatury powietrza i sumy opadów w okresie realizacji doświadczeń polowych oraz wartości średnie wieloletnie tych parametrów zamieszczono w tabeli 3.

Tabela 3. Średnie miesięczne temperatury powietrza (°C) i sumy opadów (mm) w rejonie i okresie badań – według Stacji Meteorologicznej w Mochełku.

Miesiąc	2016	2017	2018	2019	Wielolecie
Temperatura°C					
Styczeń	-	-2,6	0,8	-0,7	-1,8
Luty	-	-0,5	-3,2	2,6	-0,9
Marzec	-	5,4	-0,2	5,4	2,5
Kwiecień	-	6,8	12,0	9,3	7,9
Maj	-	13,4	16,9	12,1	13,3
Czerwiec	-	16,8	18,4	21,9	16,1
Lipiec	-	17,7	20,5	18,6	18,6
Sierpień	16,4	17,7	19,9	-	17,9
Wrzesień	14,3	13,1	15,6	-	13,1
Październik	6,3	10,1	9,8	-	8,2
Listopad	2,5	4,5	4,5	-	2,9
Grudzień	1,4	2,0	2,0	-	-0,6
Średnia	-	8,7	9,8	-	8,1

cd. tabeli 3

Opady mm					
Styczeń	-	14,5	46,3	32,6	26,8
Luty	-	30,3	5,8	18,1	20,7
Marzec	-	27,5	16,6	28,8	31,9
Kwiecień	-	40,8	40,4	1,5	27,0
Maj	-	56,3	14,2	89,2	49,3
Czerwiec	-	54,3	26,4	17,7	52,8
Lipiec	-	118,9	86,0	22,4	69,8
Sierpień	55,3	126,1	23,7	-	62,6
Wrzesień	19,4	78,4	17,0	-	46,0
Październik	116,3	104,8	34,1	-	31,5
Listopad	41,7	30,5	7,2	-	32,4
Grudzień	42,7	38,8	50,3	-	34,0
Suma	-	721,5	368,0	-	484,8

W miesiącu siewu pszenicy ozimej (wrzesień) w 2016 i 2018 roku suma opadów była o około 30 mm mniejsza od przeciętnej w latach, chociaż w 2016 i 2017 roku już w następnym miesiącu, październiku ilość opadów znacznie przekroczyła średnią wieloletnią odpowiednio o 84,8 mm i 73,3 mm. O ile sumy i rozkład opadów sprzyjał wzrostowi pszenicy przez cały 2017 rok, to już w pierwszych miesiącach następnego roku wystąpił głęboki deficyt opadów. Szczególnie brak opadów, przy notowanych wyższych średnich miesięcznych temperaturach o około 2-4°C, dał się odczuć w maju i czerwcu, czyli miesiącach kluczowych dla wegetacji i plonowania zbóż ozimych. Miesięczne sumy opadów w tym okresie były znacząco mniejsze od średnich wieloletnich. W 2019 roku deficyt opadów wystąpił w kwietniu, kiedy przez cały miesiąc zanotowano opad wynoszący zaledwie 1,5 mm, przy średniej wieloletniej 27,0 mm. W następnym miesiącu brak wody w glebie zrekompensowały majowe opady, które wyniosły 89,2 mm. Suma opadów w lipcu, czyli miesiącu dojrzewania i zbioru pszenicy ozimej, była w 2017 i 2018 roku znacznie większa niż przeciętna, natomiast w 2019 roku mniejsza. Średnia miesięczna temperatura powietrza w okresie badań znacząco nie odbiegała od średniej wieloletniej. Warto zwrócić uwagę, że w każdym roku badań średnia temperatura w grudniu był wyższa od średniej wieloletniej o ponad 2,0°C, co przekładało się na wydłużenie okresu wegetacji pszenicy. Największe uszkodzenie mrozowe wystąpiły w 2018 roku, gdzie po wyjątkowo ciepłym styczniu o średniej miesięcznej temperaturze 0,8°C nastąpił mroźny luty. W tym okresie minimalne temperatury poniżej -20°C utrzymujące się przez okres dwóch tygodni przy braku okrywy śnieżnej spowodowały znaczące straty roślin pszenicy ozimej.

4.1.5. Oceny, pomiary i analizy roślin, łanu i ziarna

Corocznie w trakcie wegetacji pszenicy ozimej na każdej jednostce eksperymentalnej obu doświadczeń wykonano obserwacje, pomiary i oceny:

- obsada roślin w fazie BBCH 12-13, (w trzech miejscach na 1-metrowym odcinku dwóch sąsiednich rzędów. W doświadczeniu nr 2 w 5. miejscach na poletku. Wynik wyrażono w szt. m^{-2},
- wskaźnik zieloności liści flagowych jako pośrednia ocena odżywienia azotem – BBCH 51-55 (Miernik chlorofilu SPAD-502 Konica Minolta),
- długość źdźbła – BBCH 89, średnia z pomiaru 20 kolejnych źdźbeł w trzech różnych rzędach,
- obsada kłosów – BBCH 89, pomiar analogiczny jak obsady roślin po wschodach,
- długość kłosa w doświadczeniu nr 1 – średnia z pomiaru 20 kłosów z kolejnych źdźbeł w trzech różnych rzędach,
- liczba ziaren w kłosie, na podstawie liczby ziaren w kłosach pobranych do oceny długości,
- masa ziarna z kłosa, na podstawie kłosów pobranych do oceny długości i liczby ziaren w kłosie,
- plon ziarna w t ha^{-1} przy zawartości wody 15%, na podstawie plonu z powierzchni poletka.

Po zbiorze oceniono jakość ziarna poprzez określenie jego parametrów fizycznych i chemicznych:

- masa 1000 ziaren – według PN-68/R-74017,
- gęstość ziarna w stanie zsypnym – PN-ISO 7971-2,
- wyrównanie ziarna – udział wagowy ziarna frakcji > 2,5 mm po przesortowaniu – Sortownik mechaniczny do oznaczania celności i wyrównania ziarna Typ SŻK
- zawartość białka ogólnego – przy użyciu analizatora bliskiej podczerwieni,
- zawartość glutenu mokrego – przy użyciu analizatora bliskiej podczerwieni,
- rozpływalność glutenu – według PN-A-74041:1977,
- wskaźnik sedymentacji – przy użyciu analizatora bliskiej podczerwieni,
- liczba opadania zgodnie z PN-ISO 3093 – aparat Typ SWD.

Ocena zużycia paliwa i czasu pracy (doświadczenie nr 2):

- Zużycie paliwa na uprawę roli i siew – według wskazań komputera pokładowego ciągnika.
- Czasochłonność ww. czynności agrotechnicznych według pomiaru bezpośredniego.

4.2. Opracowanie wyników

Dane opisujące wyniki pomiarów biometrycznych, ocen i analiz zostały opracowane matematycznie i statystycznie. Określona została istotność oddziaływania czynnika/ów oraz istotność różnic między obiektowych. Wykonano analizę wariancji doświadczenia jedno- i dwuczynnikowego, a różnice pomiędzy średnimi wielkościami obiektowymi zostały ocenione testem Tukeya przy poziomie istotności p = 0,05. Wyniki z kolejnych lat badań zamieszczono w tabelach. Wyniki z kolejnych sezonów wegetacji pszenicy ozimej opisywano zgodnie z rokiem siewu/rokiem zbioru, np. 2016/2017. Syntezę z lat badań wykonano w modelu mieszanym (czynnik stały, lata losowe). Wyniki z doświadczenia nr 1 przedstawiono na wykresach, a doświadczenia nr 2 w tabelach, opisując je jako zakres lat realizacji, czyli 2016-2019. W doświadczeniu nr 2 oceniona została również przestrzenna równomierność wschodów roślin (obsada roślin po wschodach) na porównywanych obiektach. Wyniki odchylenia standardowego wraz z wielkościami odstającymi i ekstremalnymi tej cechy przedstawiono na wykresie typu ramka-wąsy, a wskaźnik zmienności obsady roślin w różnych miejscach pola na wykresie kolumnowym. Ponadto w doświadczeniu nr 2 wykonano uproszczony rachunek ekonomiczny w oparciu zasady rachunku nadwyżki bezpośredniej.

Zgodnie z metodyką wykonania kalkulacji rolniczych (https://www.notowania.kpodr.pl/userfiles/kalkulacje_rolnicze_2020/Wst%C4%99p%20i%20Metodyka%20Kalkulacje%20Rolnicze.pdf) nadwyżkę bezpośrednią określono jako wartość produkcji z 1 hektara uprawy pomniejszoną o koszty bezpośrednie poniesione na wytworzenie tej produkcji. W rachunku nadwyżki nie uwzględniono jednak dopłat do upraw, natomiast koszty bezpośrednie zwiększono o koszt pracy bezpośrednio związanej z porównywanymi sposobami uprawy roli i siewu, jak i koszt zużytego paliwa. Rachunek nadwyżki bezpośredniej wykonano dla wartości średnich z lat badań, a ceny produktów rolnych – ziarno pszenicy i środków produkcji oraz roboczogodziny przyjęto według średnich wartości w pełnych zł w 2021 roku w rejonie badań.

Do opracowania wyników wykorzystano pakiety programów komputerowych: ANALWAR-5.2-FR, Statistica 12.0, Microsoft Office. Wyniki opracowano z dokładnością 0,0001, a przed umieszczeniem ich w pracy, w tabelach lub na wykresach, zaokrąglono je, w zależności od cechy, z dokładnością do 0,01; 0,1 lub 1,0 przy użyciu arkusza kalkulacyjnego Excel.

5. OMÓWIENIE WYNIKÓW

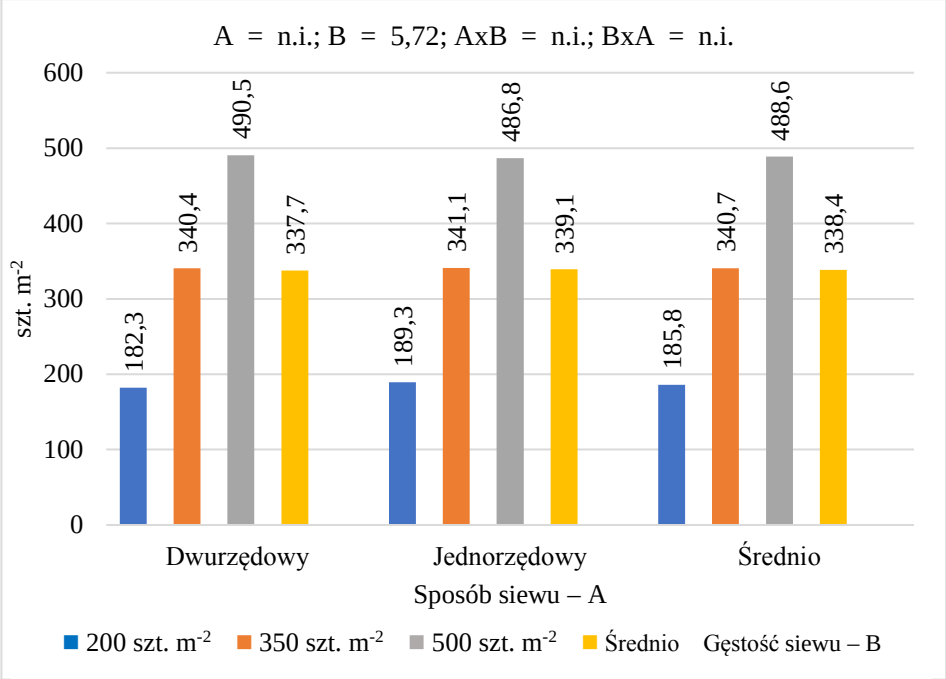
5.1. Doświadczenie nr 1

5.1.1. Obsada roślin po wschodach

W pierwszym doświadczeniu, realizowanym jako eksperyment poletkowy po klasycznej, płużnej uprawie roli, w żadnym z trzech lat badań nie stwierdzono istotnego wpływu sposobu siewu na obsadę roślin po wschodach. Minimalna tendencja większej obsady roślin, nieistotna statystycznie, wystąpiła tylko w trzecim roku (tab. 4). W pierwszych dwóch latach wystąpiło natomiast interakcyjne oddziaływanie sposobu siewu z jego gęstością na obsadę roślin po wschodach. Korzystny wpływ siewu dwurzędowego na tę cechę pszenicy ozimej w sezonie 2016/2017 ujawnił się przy gęstości siewu 350 szt. m^{-2}, a w 2017/218 po wysiewie 500 ziaren m^{-2}. Stosując inne gęstości siewu, jego sposób nie miał wpływu na obsadę roślin lub była ona większa po siewie jednorzędowym. Obsada roślin pszenicy ozimej, jako spodziewany efekt zróżnicowanej gęstości siewu, w każdym roku badań zwiększała się istotnie wraz z rosnącą liczbą wysiewanych ziaren na jednostce powierzchni w zakresie od 200 ziaren m^{-2} do 500 ziaren m^{-2}.

Tabela 4. Obsada roślin po wschodach w kolejnych latach badań (szt. m^{-2})

Czynnik B gęstość siewu (ziaren m^{-2})	Czynnik A – sposób siewu		Średnia
	Dwurzędowy	Jednorzędowy	
2016/2017			
200	190,0	195,4	192,7
350	346,8	336,4	341,6
500	483,5	493,3	488,4
średnia	340,1	341,7	340,9
NIR (test Tukeya) p = 0,05: A = n.i. B = 6,95 B/A = 9,83 A/B = 8,13			
2017/2018			
200	174,6	183,2	178,9
350	334,0	345,8	339,9
500	497,5	480,3	488,4
średnia	335,4	336,4	335,9
NIR (test Tukeya) p = 0,05: A = n.i. B = 8,22 B/A = 11,62 A/B = 9,61			
2018/2019			
200	175,8	174,2	175,0
350	317,2	318,2	317,7
500	453,4	450,3	451,9
średnia	315,4	314,2	314,9
NIR (test Tukeya) p = 0,05: A = n.i. B = 6,94 B/A = n.i. A/B = n.i.			



Rys. 1. Średnia obsada roślin po wschodach w latach badań (2016-2019)

Średnio w okresie badań sposób siewu nie miał istotnego wpływu na obsadę roślin pszenicy ozimej bezpośrednio po wschodach, nie stwierdzono również jego oddziaływania w zależności od gęstości siewu (rys. 1). Obsada roślin była natomiast zależna od gęstości siewu i kształtowała się od 185,8 szt. m^{-2} w wyniku wysiewu 200 ziaren m^{-2} do 488,6 szt. m^{-2} przy wysiewie 500 ziaren na m^2.

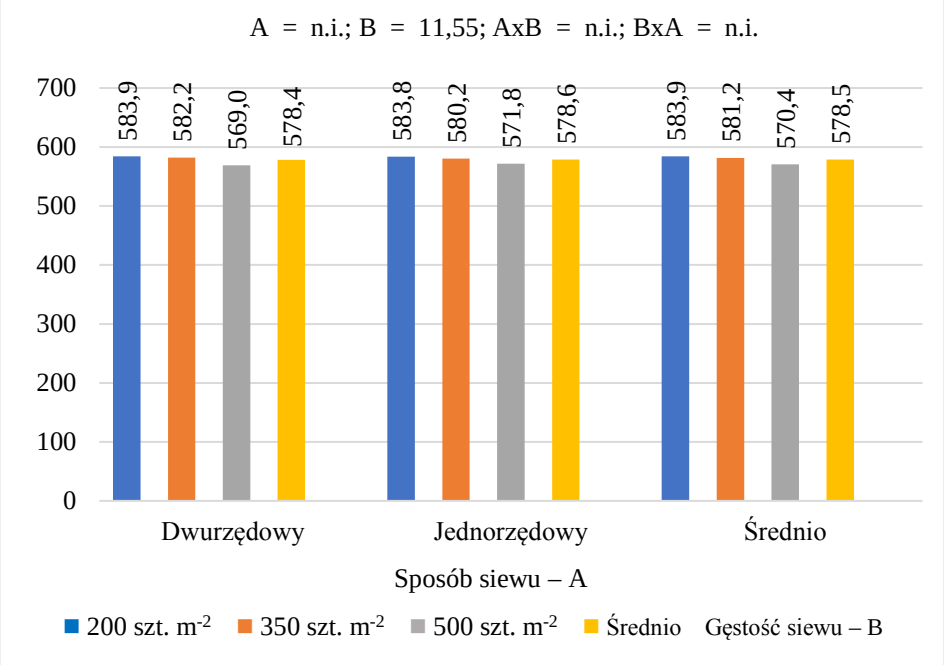
5.1.2. Wskaźnik zieloności liści

Wskaźnik zieloności liścia flagowego w dwóch pierwszych latach badań nie zależał ani od sposobu siewu, ani od jego gęstości. Nie stwierdzono również istotnego współdziałania czynników doświadczalnych na tę cechę. Natomiast w 2018/2019 roku wielkość wskaźnika SPAD zróżnicowała gęstość siewu (tab. 5). Liście flagowe roślin wysianych w mniejszych gęstościach, tj. 200 ziaren m^{-2} i 350 ziaren m^{-2} odznaczały się istotnie większą wartością wskaźnika SPAD niż rośliny wysiane w gęstości 500 ziaren m^{-2}.

Zależność wskaźnika zieloności liścia flagowego od czynników doświadczenia średnio w okresie badań kształtowała się podobnie jak w trzecim roku, czyli w sezonie 2018/2019. Wskaźnik zieloności liści roślin wysianych w gęstości 200 ziaren m^{-2} i 300 ziaren m^{-2} był istotnie większy niż roślin wysianych najgęściej. Różnica, istotna statystycznie, wyniosła odpowiednio 13,5 i 10,8 jednostek SPAD (rys. 2).

Tabela 5. Wskaźnik zieloności liścia flagowego w kolejnych latach badań (SPAD)

Czynnik B gęstość siewu (ziaren m^{-2})	Czynnik A – sposób siewu		Średnia
	Dwurzędowy	Jednorzędowy	
2016/2017			
200	591,5	586,3	588,9
350	587,0	584,8	585,9
500	581,0	584,3	582,7
średnia	586,5	585,2	585,8
NIR (test Tukeya) p = 0,05: A = n.i. B = n.i. B/A = n.i. A/B = n.i.			
2017/2018			
200	561,2	565,5	563,3
350	562,8	558,3	560,6
500	554,2	561,8	558,0
średnia	559,4	561,9	560,6
NIR (test Tukeya) p = 0,05: A = n.i. B = n.i. B/A = n.i. A/B = n.i.			
2018/2019			
200	599,0	599,7	599,3
350	596,7	597,3	597,0
500	571,8	569,0	570,4
średnia	589,2	588,7	588,9
NIR (test Tukeya) p = 0,05: A = n.i. B = 13,82 B/A = n.i. A/B = n.i.			



Rys. 2. Średni wskaźnik zieloności liścia flagowego – SPAD w latach badań (2016-2019)

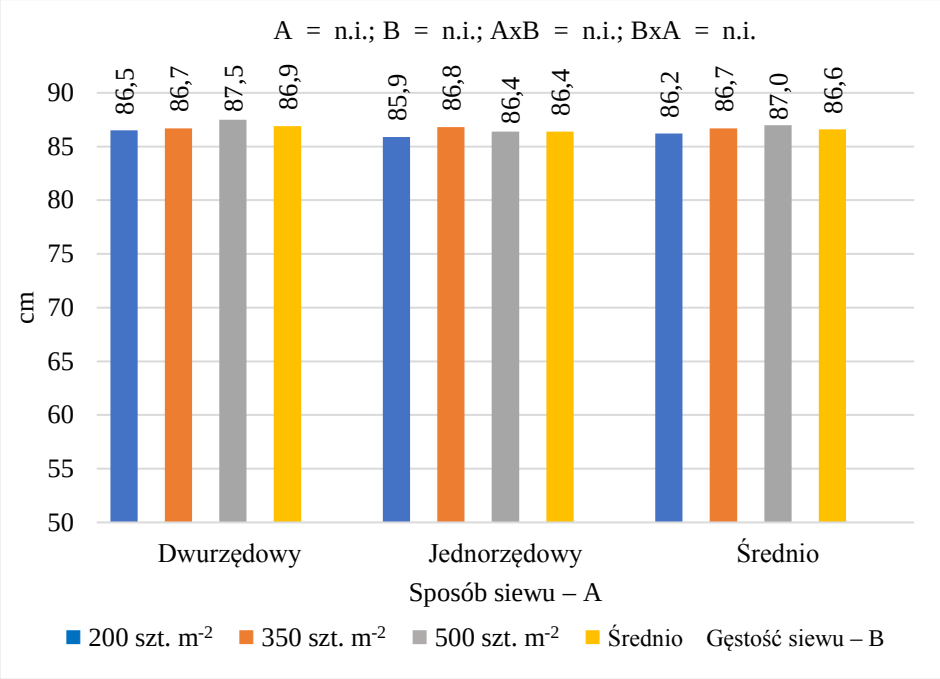
5.1.3. Długość źdźbła

Mimo tego samego genotypu (odmiana) różnica długości źdźbła w 2016/2017 roku a w 2017/2018 roku wyniosła 14,2 cm. Czynniki doświadczalne ani ich współdziałanie nie zróżnicowały jednak istotnie długości źdźbła pszenicy ozimej w kolejnych latach badań (tab. 6). W każdym roku ujawniła się natomiast tendencja (różnice nieistotne) dłuższych źdźbeł pszenicy wysiewanej w największej gęstości – 500 ziaren m^{-2} oraz pod wpływem siewu dwurzędowego.

Tabela 6. Długość źdźbła w kolejnych latach badań (cm)

Czynnik B gęstość siewu (ziaren m^{-2})	Czynnik A – sposób siewu		Średnia
	Dwurzędowy	Jednorzędowy	
2016/2017			
200	94,2	93,6	93,8
350	94,1	94,1	94,1
500	95,0	93,4	94,2
Średnia	94,4	93,7	94,1
NIR (test Tukeya) p = 0,05: A = n.i. B = n.i. B/A = n.i. A/B = n.i.			
2017/2018			
200	79,7	79,7	79,7
350	79,7	80,2	79,9
500	80,5	79,5	80,0
Średnia	79,9	79,8	79,9
NIR (test Tukeya) p = 0,05: A = n.i. B = n.i. B/A = n.i. A/B = n.i.			
2018/2019			
200	85,8	84,4	85,1
350	86,3	86,0	86,2
500	86,9	86,4	86,6
Średnia	86,3	85,6	86,0
NIR (test Tukeya) p = 0,05: A = n.i. B = n.i. B/A = n.i. A/B = n.i.			

Tendencje te miały miejsce również w odniesieniu do analizy wpływu czynników doświadczalnych na długość źdźbła pszenicy ozimej średnio w latach badań (rys. 3). Największe, choć nieistotne oddziaływanie na tę cechę dotyczyło siewu dwurzędowego przy gęstości siewu 500 ziaren m^{-2}. Pod jego wpływem źdźbła były dłuższe o 1,1 cm, tj. 1,3% od źdźbeł pszenicy wysianej w tej gęstości, ale jednorzędowo.



Rys. 3. Średnia długość źdźbła w latach badań (2016-2019)

5.1.4. Obsada kłosów

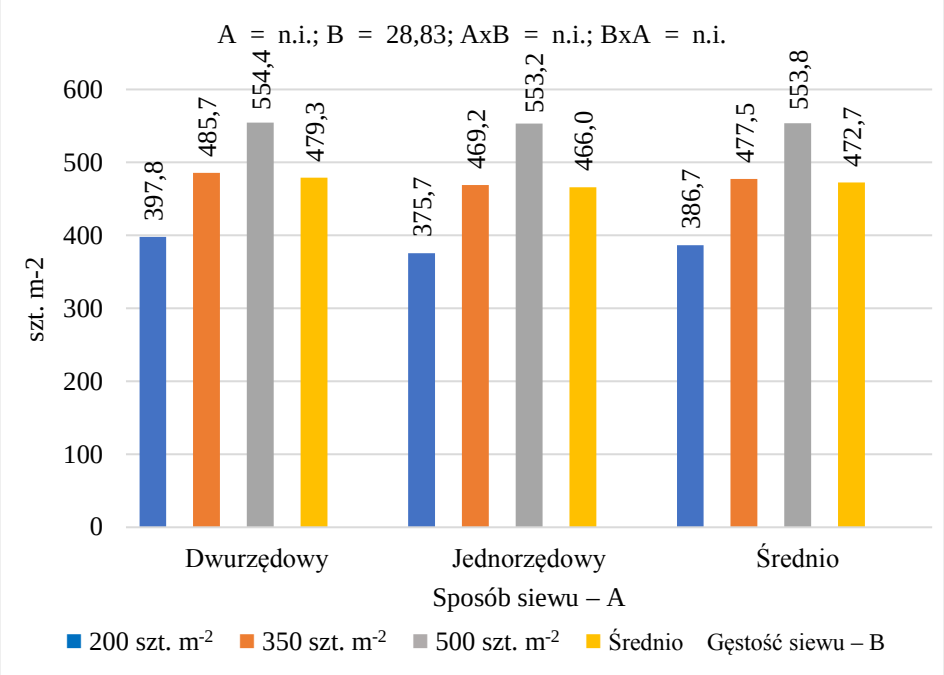
Sposób siewu w każdym z trzech lat badań wpłynął istotnie na obsadę kłosów, a w pierwszym i trzecim roku oddziaływanie to zależało od jego gęstości. Na obiektach, gdzie wykonano siew dwurzędowy obsada kłosów była, w zależności od roku, większa o 2,4-3,7% niż w wyniku siewu jednorzędowego (tab. 7). Korzystne oddziaływanie siewu dwurzędowego na obsadę kłosów ujawniło się tylko przy mniejszych gęstościach siewu, w 2016/2017 roku przy wysiewie 200 ziaren m^{-2} i 350 ziaren m^{-2}, a w 2018/2019 roku po wysiewie tylko 200 ziaren m^{-2}. Przy dużej gęstości siewu – 500 ziaren m^{-2} w pierwszym roku badań – większą obsadę kłosów zapewnił siew jednorzędowy.

Obsada kłosów pszenicy ozimej w każdym roku zależała od gęstości siewu i była istotnie tym większa, im więcej wysiewano ziaren na jednostce powierzchni w zakresie 200-500 szt. m^{-2}. Jednak w 2018/2019 roku, kiedy obsada kłosów była największa, przyrost ich obsady pod wpływem zwiększenia gęstości siewu z 350 ziaren m^{-2} do 500 ziaren m^{-2}, zwłaszcza po siewie dwurzędowym, był najmniejszy.

Średnio w trzyletnim okresie badań zależność obsady kłosów pszenicy ozimej od gęstości siewu była podobna jak w poszczególnych latach, ale niezależna od sposobu siewu. Korzystny wpływ siewu dwurzędowego, wynoszący 13,3 szt. m^{-2}, nie został potwierdzony statystycznie (rys. 4).

Tabela 7. Obsada kłosów w kolejnych latach badań (szt. m^{-2})

Czynnik B gęstość siewu (ziaren m^{-2})	Czynnik A – sposób siewu		Średnia
	Dwurzędowy	Jednorzędowy	
2016/2017			
200	375,2	352,5	363,8
350	476,3	436,7	456,5
500	535,8	562,3	549,1
średnia	462,4	450,5	456,5
NIR (test Tukeya) p = 0,05: A = 9,90 B = 14,66 B/A = 20,74 A/B = 17,15			
2017/2018			
200	354,3	342,2	348,2
350	428,8	430,5	429,7
500	539,8	503,5	521,7
średnia	441,0	425,4	433,2
NIR (test Tukeya) p = 0,05: A = 13,53 B = 20,05 B/A = n.i. A/B = n.i.			
2018/2019			
200	463,8	432,5	448,2
350	552,0	540,5	546,2
500	587,7	593,7	590,7
średnia	534,5	522,2	528,4
NIR (test Tukeya) p = 0,05: A = 10,26 B = 15,20 B/A = 21,49 A/B = 17,77			



Rys. 4. Średnia obsada kłosów w latach badań (2016-2019)

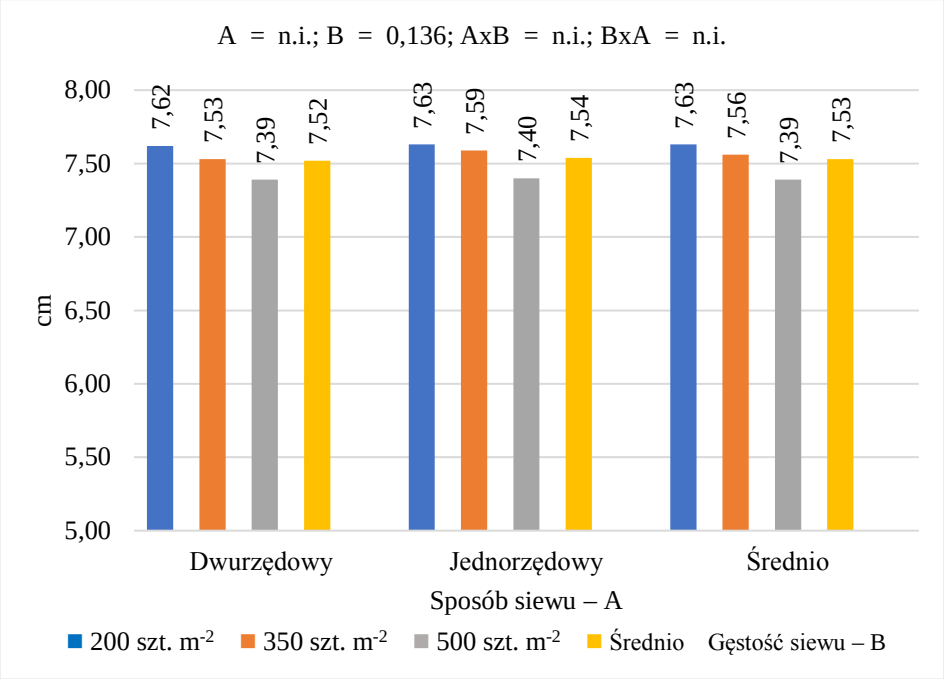
5.1.5. Długość kłosa

Na długość kłosów pszenicy ozimej w każdym roku badań istotny wpływ miała tylko gęstość siewu (tab. 8). Kłosy pszenicy wysianej w gęstości 200 ziaren m^{-2} były istotnie dłuższe od kłosów roślin wysianych najgęściej, tj. 500 ziaren m^{-2}. Wpływ sposoby siewu na tę cechę kłosa był słaby i nieistotny statystycznie. W sezonie 2017/2018 nieco dłuższe kłosy wykształciła pszenica wysiana tradycyjnie, w pojedynczych rzędach. Natomiast w latach 2016/2017 i 2018/2019 dłuższe, nieistotnie, kłosy miały rośliny siane w podwójnych rzędach. Maksymalne różnice bezwzględne i względne, wyrażone w procentach, wyniosły odpowiednio: 0,06 cm i 0,8%.

Korzystny, istotny, chociaż również relatywne słaby wpływ małej gęstości siewu na długość kłosa pszenicy ozimej ujawnił się średnio w całym, trzyletnim okresie badań (rys. 5). Kłosy pszenicy sianej w gęstości 200 ziaren m^{-2} były o 0,24 cm dłuższe od kłosów roślin wysianych w gęstości 500 ziaren m^{-2}.

Tabela 8. Długość kłosa (cm)

Czynnik B gęstość siewu (ziaren m^{-2})	Czynnik A – sposób siewu		Średnia
	Dwurzędowy	Jednorzędowy	
2016/2017			
200	7,79	7,93	7,86
350	7,75	7,79	7,77
500	7,65	7,65	7,65
Średnia	7,73	7,79	7,76
NIR (test Tukeya) p = 0,05: A = n.i. B = 0,120 B/A = n.i. A/B = n.i.			
2017/2018			
200	7,41	7,44	7,43
350	7,41	7,43	7,42
500	7,19	7,03	7,11
Średnia	7,34	7,30	7,32
NIR (test Tukeya) p = 0,05: A = n.i. B = 0,152 B/A = n.i. A/B = n.i.			
2018/2019			
200	7,66	7,52	7,59
350	7,44	7,54	7,49
500	7,33	7,50	7,42
Średnia	7,48	7,52	7,50
NIR (test Tukeya) p = 0,05: A = n.i. B = 0,163 B/A = n.i. A/B = n.i.			



Rys. 5. Średnia długość kłosa w latach badań (2016-2019)

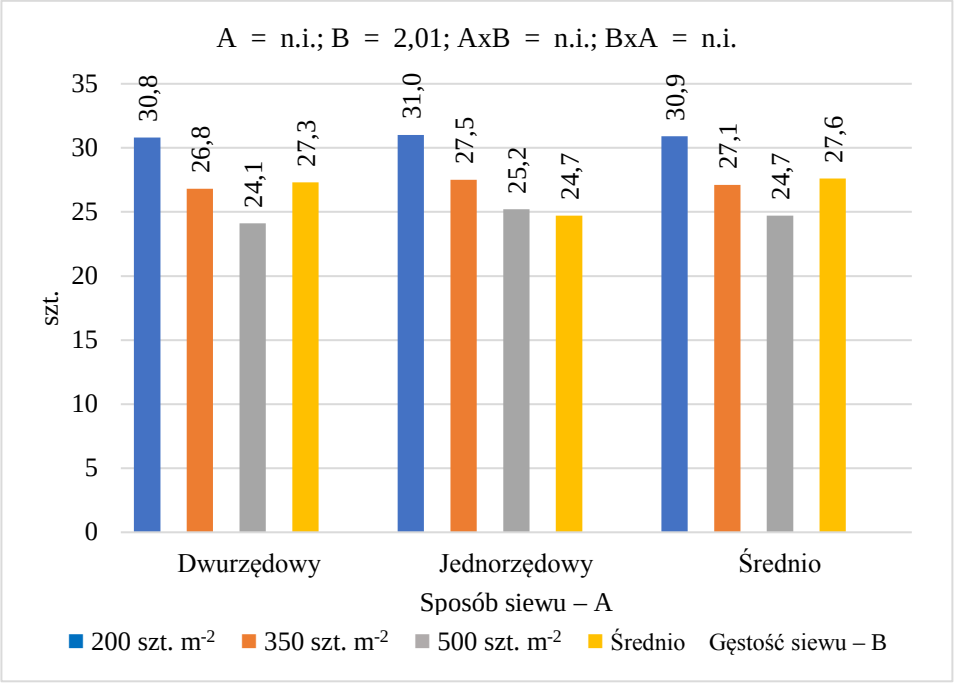
5.1.6. Liczba ziaren w kłosie

Sposób siewu miał istotny wpływ na liczbę ziaren z kłosa w pierwszym i trzecim roku badań. W obydwu tych latach najwięcej ziaren występowało w kłosach pszenicy ozimej wysiewanej jednorzędowo (tab. 9). W sezonie 2018/2019 ten sposób siewu spowodował większą liczbę ziaren tylko w przypadku gęstych siewów, tj. 350 ziaren m^{-2} i 500 ziaren m^{-2}. Duża gęstość siewu ograniczała liczbę ziaren w kłosie w każdym roku uprawy, chociaż w 2018/2019 roku wielkość tej cechy pszenicy wysianej jednorzędowo w gęstościach 350 ziaren m^{-2} i 500 ziaren m^{-2} nie różniła się istotnie.

W całym okresie badań liczba ziaren w kłosie zależała tylko od gęstości siewu i zwiększała się wraz malejącą liczbą ziaren na jednostce powierzchni w momencie siewu (rys. 6). Natomiast ani sposób siewu, ani jego współdziałanie z gęstością siewu nie miały istotnego wpływu na wielkość tego elementu plonowania.

Tabela 9. Liczba ziaren w kłosie (szt.)

Czynnik B gęstość siewu (ziaren m^{-2})	Czynnik A – sposób siewu		Średnia
	Dwurzędowy	Jednorzędowy	
2016/2017			
200	33,5	35,1	34,3
350	28,5	28,9	28,7
500	24,9	25,6	25,3
średnia	29,0	29,9	29,4
NIR (test Tukeya) p = 0,05: A = 0,60 B = 0,89 B/A = n.i. A/B = n.i.			
2017/2018			
200	27,4	26,8	27,1
350	24,9	24,9	24,9
500	21,7	22,4	22,0
średnia	24,7	24,7	24,7
NIR (test Tukeya) p = 0,05: A = n.i. B = 0,98 B/A = n.i. A/B = n.i.			
2018/2019			
200	31,7	31,0	31,3
350	27,1	28,5	27,8
500	25,8	27,7	26,8
średnia	28,2	29,1	28,6
NIR (test Tukeya) p = 0,05: A = 0,46 B = 0,68 B/A = 0,96 A/B = 0,79			



Rys. 6. Średnia liczba ziarna w kłosie w latach badań (2016-2019)

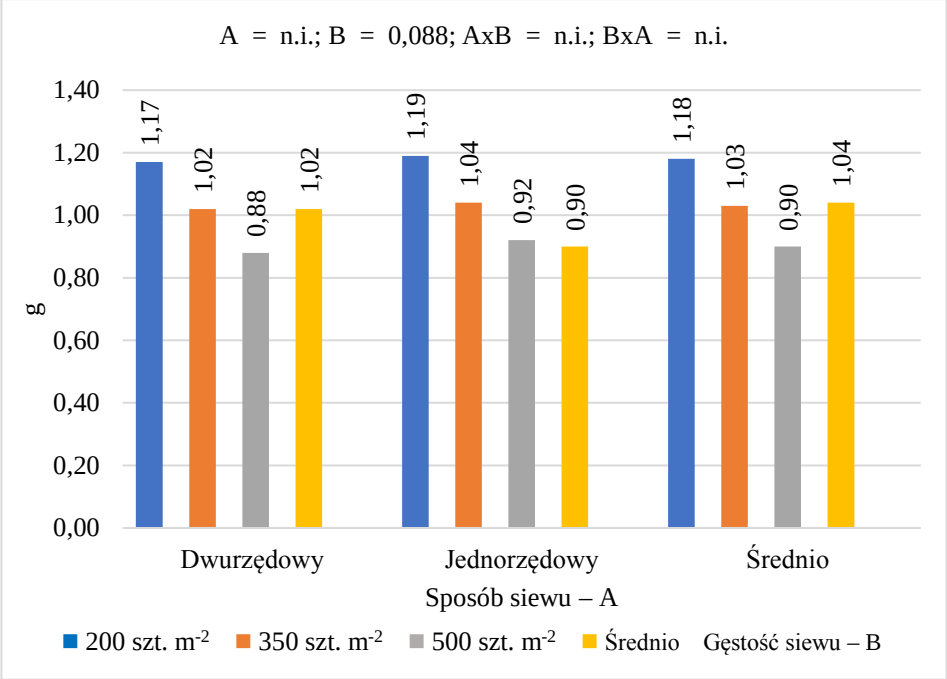
5.1.7. Masa ziarna z kłosa

Sposób siewu wpłynął istotnie na masę ziarna z kłosa tylko w pierwszym roku badań, kiedy kłosy pszenicy ozimej sianej jednorzędowo, niezależnie od gęstości siewu, były wypełnione ziarnem o większej masie niż po siewie dwurzędowym (tab. 10). Podobna zależność masy ziarna z kłosa od sposobu siewu wystąpiła w sezonie 2018/2019, ale tylko w przypadku największej jego gęstości, tj. 500 ziaren m^{-2}. W każdym roku badań masa ziarna z kłosa była natomiast tym mniejsza, im w większej gęstości wysiewano pszenicę. Tylko w 2018/2019 roku wysiew jednorzędowy 350 ziaren m^{-2} i 500 ziaren m^{-2} nie zróżnicował istotnie wielkości tej cechy.

Średnio w trzech sezonach uprawy pszenicy nie stwierdzono istotnej różnicy masy ziarna z kłosa pod wpływem sposobu siewu ani jego interakcyjnego oddziaływania na tę cechę w zależności od gęstości siewu. Natomiast mała gęstość siewu, wynosząca 200 ziaren m^{-2} sprzyjała dorodności kłosów wyrażającej się największą masą ziarna z owocostanu (rys. 7).

Tabela 10. Masa ziarna z kłosa (g)

Czynnik B gęstość siewu (ziaren m^{-2})	Czynnik A – sposób siewu		Średnia
	Dwurzędowy	Jednorzędowy	
2016/2017			
200	1,30	1,38	1,34
350	1,12	1,16	1,14
500	0,92	0,94	0,93
średnia	1,11	1,16	1,14
NIR (test Tukeya) p = 0,05: A = 0,024 B = 0,036 B/A = n.i. A/B = n.i.			
2017/2018			
200	0,92	0,95	0,93
350	0,82	0,83	0,83
500	0,70	0,72	0,71
średnia	0,81	0,83	0,82
NIR (test Tukeya) p = 0,05: A = n.i. B = 0,039 B/A = n.i. A/B = n.i.			
2018/2019			
200	1,30	1,24	1,27
350	1,11	1,13	1,12
500	1,00	1,09	1,05
średnia	1,14	1,15	1,15
NIR (test Tukeya) p = 0,05: A = n.i. B = 0,056 B/A = 0,079 A/B = 0,066			



Rys. 7. Średnia masa ziarna z kłosa w latach badań (2016-2019)

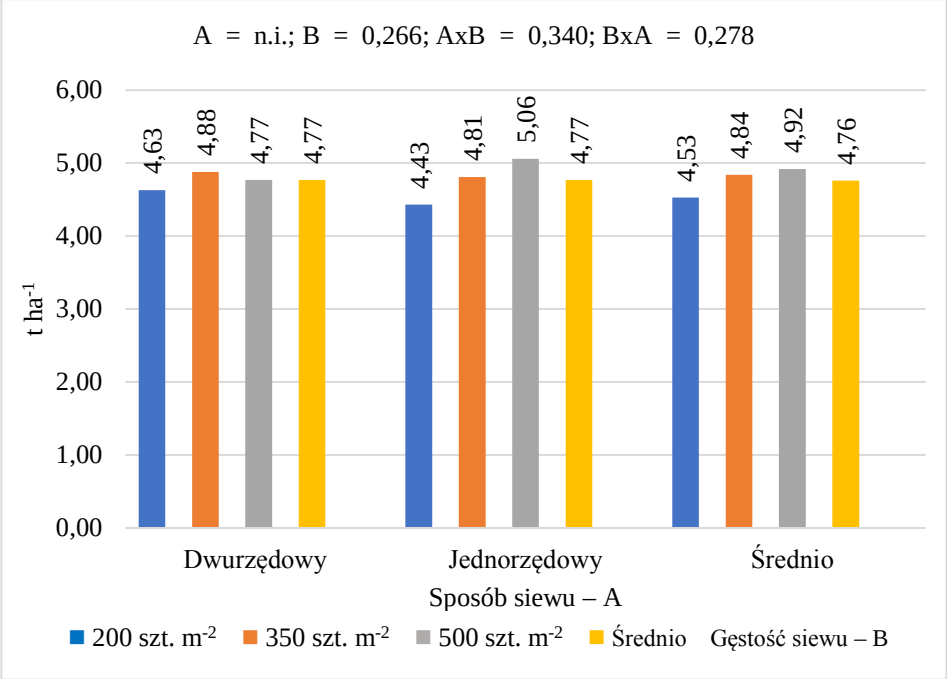
5.1.8. Plon ziarna

Sposób siewu nie wpłynął istotnie na plon ziarna pszenicy ozimej, a jego różnica po wykonanym siewie dwurzędowym i jednorzędowym w poszczególnych latach nie była większa niż 0,06 t ha^{-1} (tab. 11). Rozmieszczenie rzędów roślin oddziaływało jednak na plon w interakcji z gęstością siewu. Siew dwurzędowy sprzyjał plonowaniu pszenicy w przypadku mniejszej gęstości siewu, a jednorzędowy większej. Taka zależność wystąpiła w dwóch z trzech lat badań. W sezonie 2018/2019 plon pszenicy wysianej dwurzędowo w gęstości 200 ziaren m^{-2} był istotnie większy niż w rezultacie siewu jednorzędowego, natomiast w roku 2016/2017 korzystny wpływ siewu dwurzędowego na plon ziarna wystąpił przy wysiewie 350 ziaren m^{-2}. W każdym roku pszenica plonowała najlepiej przy różnej gęstości siewu, było to odpowiednio: 350 ziaren m^{-2} – 2016/2017, 500 ziaren m^{-2} – 2017/2018, 350 ziaren m^{-2} i 500 ziaren m^{-2} – 2018/2019.

Tabela 11. Plon ziarna ($t \cdot ha^{-1}$)

Czynnik B gęstość siewu (ziaren m^{-2})	Czynnik A – sposób siewu		średnia
	Dwurzędowy	Jednorzędowy	
2016/2017			
200	4,82	4,78	4,80
350	5,28	5,05	5,17
500	4,90	5,25	5,07
średnia	5,00	5,03	5,01
NIR (test Tukeya) p = 0,05: A = n.i. B = 0,068 B/A = 0,096 A/B = 0,079			
2017/2018			
200	3,16	3,21	3,18
350	3,31	3,35	3,33
500	3,56	3,59	3,57
średnia	3,34	3,38	3,36
NIR (test Tukeya) p = 0,05: A = n.i. B = 0,095 B/A = n.i. A/B = n.i.			
2018/2019			
200	5,91	5,29	5,60
350	6,06	6,01	6,03
500	5,86	6,35	6,10
średnia	5,94	5,88	5,91
NIR (test Tukeya) p = 0,05: A = n.i. B = 0,121 B/A = 0,171 A/B = 0,142			

Średnio w trzyletnim okresie doświadczeń polowych plon pszenicy ozimej wysiewanej w gęstościach 350 ziaren m^{-2} i 500 ziaren m^{-2} był większy niż przy wysiewie 200 ziaren m^{-2}, przy czym istotny wpływ gęstości siewu na plon ziarna wystąpił tylko przy siewie jednorzędowym (rys. 8). W przypadku dużej gęstości siewu, 500 ziaren m^{-2}, plon ziarna po siewie jednorzędowym był istotnie większy niż po dwurzędowym.



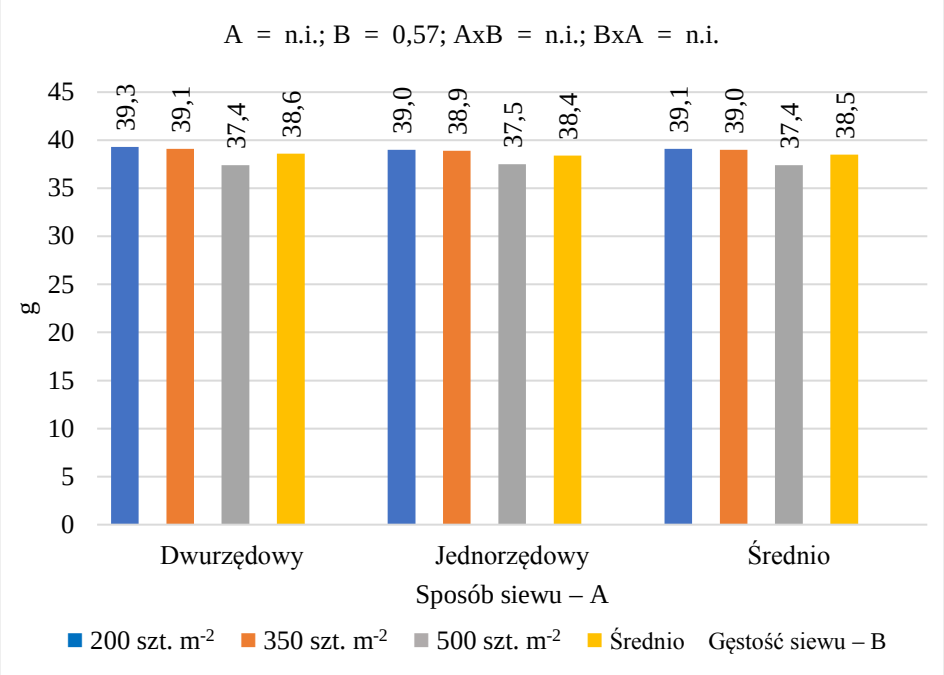
Rys. 8. Średni plon ziarna w latach badań (2016-2019)

5.1.9. Masa tysiąca ziaren

Masa tysiąca ziaren pszenicy ozimej zarówno w poszczególnych latach (tab. 12), jak i średnio w całym okresie badań (rys. 9) była istotnie kształtowana tylko przez gęstość siewu. Nie stwierdzono natomiast istotnego wpływu sposobu siewu ani jego współdziałania z gęstością na tę cechę. Masa tysiąca ziaren pszenicy wysiewanej w największej gęstości, tj. 500 ziaren m^{-2} była istotnie mniejsza od wielkości tej cechy właściwej dla gęstości 350 ziaren m^{-2} i 200 ziaren m^{-2}.

Tabela 12. Masa tysiąca ziaren (g)

Czynnik B gęstość siewu (ziaren m^{-2})	Czynnik A – sposób siewu		średnia
	Dwurzędowy	Jednorzędowy	
2016/2017			
200	40,3	40,2	40,2
350	40,5	40,1	40,3
500	38,4	38,2	38,3
średnia	39,7	39,5	39,6
NIR (test Tukeya) p = 0,05: A = n.i. B = 0,74 B/A = n.i. A/B = n.i.			
2017/2018			
200	36,3	35,9	36,1
350	35,1	35,3	35,2
500	33,9	34,2	34,0
średnia	35,1	35,1	35,1
NIR (test Tukeya) p = 0,05: A = n.i. B = 0,81 B/A = n.i. A/B = n.i.			
2018/2019			
200	41,3	40,9	41,1
350	41,6	41,2	41,4
500	39,8	40,1	40,0
średnia	40,9	40,7	40,8
NIR (test Tukeya) p = 0,05: A = n.i. B = 1,01 B/A = n.i. A/B = n.i.			



Rys. 9. Średnia masa tysiąca ziaren w latach badań (2016-2019)

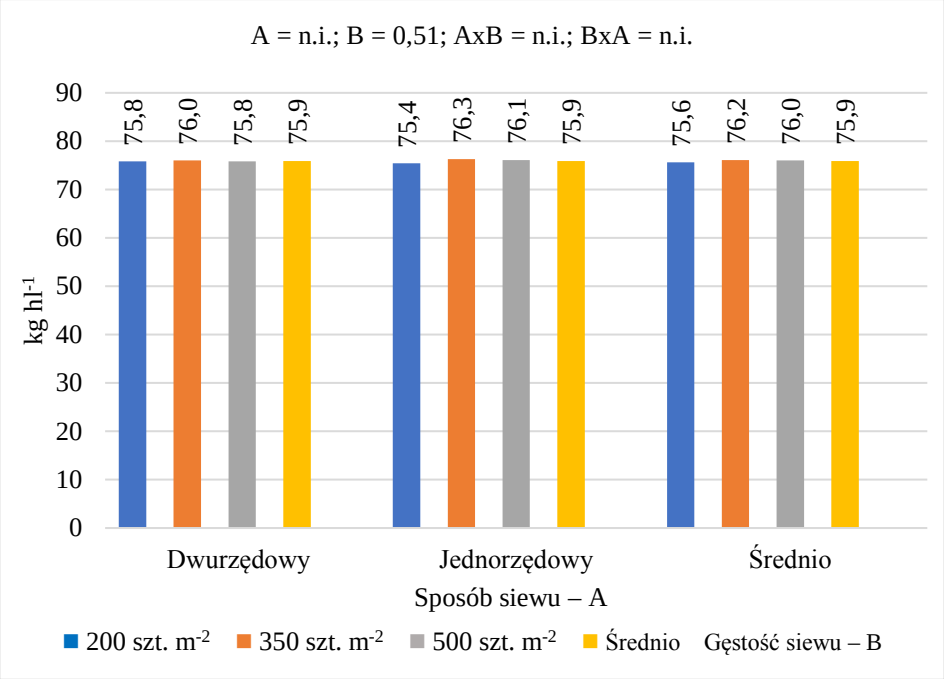
5.1.10. Gęstość ziarna w stanie zsypnym

Liczba ziaren wysiewanych na jednostce powierzchni wpłynęła istotnie na gęstość ziarna w stanie zsypnym w pierwszym i trzecim roku badań, przy czym w sezonie 2018/2019 współoddziaływała ze sposobem siewu (tab. 13). W 2016/2017 roku ziarno plonu pszenicy wysiewanej w liczbie 200 ziaren m^{-2} miało istotnie mniejszą masę w stanie zsypnym niż ziarno pszenicy wysiewanej w gęstości 350 ziaren m^{-2}, natomiast w roku 2018/2019 gęstość ziarna w stanie zsypnym pszenicy wysiewanej w liczbie 200 ziaren m^{-2} była istotnie mniejsza od wielkości tej cechy właściwej dla ziarna pszenicy ozimej wysiewanej w gęstościach 350 ziaren m^{-2} i 500 ziaren m^{-2}. Zależność gęstości ziarna plonu od gęstości siewu mająca miejsce w 2018/2019 roku była istotna dla siewu jednorzędowego, a nie ujawniła się przy siewie dwurzędowym.

Istotnie większa gęstość ziarna pszenicy ozimej wysiewanej w liczbie 350 ziaren m^{-2} niż 200 ziaren m^{-2}, niezależnie od sposobu siewu, była zależnością właściwą dla całego trzyletniego okresu badań (rys. 10).

Tabela 13. Gęstość ziarna w stanie zsypnym (kg hl^{-1})

Czynnik B gęstość siewu (ziaren m^{-2})	Czynnik A – sposób siewu		Średnia
	Dwurzędowy	Jednorzędowy	
2016/2017			
200	76,0	75,8	75,9
350	76,5	77,0	76,8
500	76,6	76,5	76,6
średnia	76,4	76,4	76,4
NIR (test Tukeya) p = 0,05: A = n.i. B = 0,76 B/A = n.i. A/B = n.i.			
2017/2018			
200	74,7	74,7	74,7
350	74,7	74,6	74,6
500	74,2	74,7	74,5
średnia	74,5	74,7	74,6
NIR (test Tukeya) p = 0,05: A = n.i. B = n.i. B/A = n.i. A/B = n.i.			
2018/2019			
200	76,6	75,8	76,2
350	76,7	77,4	77,0
500	76,6	77,0	76,8
średnia	76,6	76,7	76,7
NIR (test Tukeya) p = 0,05: A = n.i. B = 0,42 B/A = 0,59 A/B = 0,49			



Rys. 10. Średnia gęstość ziarna w stanie zsypnym w latach badań (2016-2019)

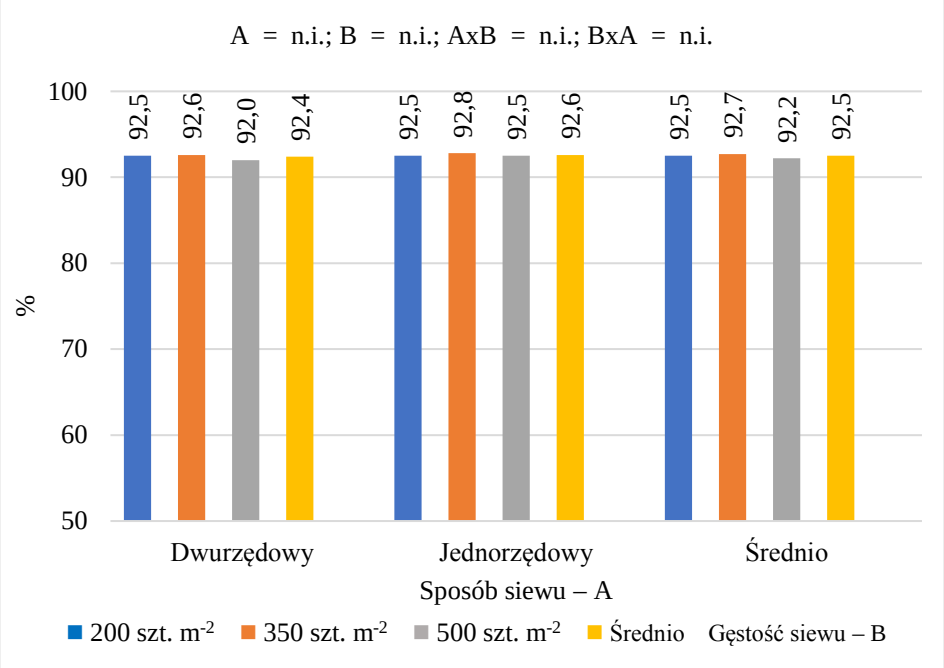
5.1.11. Wyrównanie ziarna

Najmniej wyrównane ziarno uzyskano w 2017/2018 roku. Cecha ta miała wartość 88,2% i była o 5,7 i 7,2 punktów procentowych mniejsza od wyrównania ziarna w latach, odpowiednio 2016/2017 i 2018/2019. Spośród czynników doświadczenia tylko gęstość siewu w sezonie 2017/2018, a także współdziałanie sposobu i gęstości siewu w roku 2018/2019 istotnie zróżnicowały tę cechę jakości ziarna (tab. 14). Lepsze wyrównanie ziarna pszenicy wysiewanej w gęstości 200 ziaren m^{-2} niż 500 ziaren m^{-2} w pierwszym z tych sezonów, w drugim wystąpiło tylko przy siewie dwurzędowym. Siew jednorzędowy spowodował odwrotną zależność. Ziarno pszenicy ozimej wysiewanej w gęstości 200 ziaren m^{-2} było gorzej wyrównane niż przy wysiewie 500 ziaren m^{-2}.

Średnio w trzyletnim okresie badań wyrównanie ziarna pszenicy ozimej nie zależało od sposobu i gęstości siewu, a także od interakcyjnego oddziaływania tych czynników (rys. 11)

Tabela 14. Wyrównanie ziarna (%)

Czynnik B gęstość siewu (ziaren m^{-2})	Czynnik A – sposób siewu		Średnia
	Dwurzędowy	Jednorzędowy	
2016/2017			
200	93,5	93,7	93,6
350	94,1	94,4	94,3
500	93,6	93,8	93,7
średnia	93,8	94,0	93,9
NIR (test Tukeya) p = 0,05: A = n.i. B = n.i. B/A = n.i. A/B = n.i.			
2017/2018			
200	88,3	88,7	88,5
350	88,1	88,3	88,2
500	87,7	87,9	87,8
średnia	88,0	88,3	88,2
NIR (test Tukeya) p = 0,05: A = n.i. B = 0,53 B/A = n.i. A/B = n.i.			
2018/2019			
200	95,6	95,0	95,3
350	95,6	95,6	95,6
500	94,6	95,9	95,2
średnia	95,3	95,5	95,4
NIR (test Tukeya) p = 0,05: A = n.i. B = n.i. B/A = 0,73 A/B = 0,60			



Rys. 11. Średnie wyrównanie ziarna w latach badań (2016-2019)

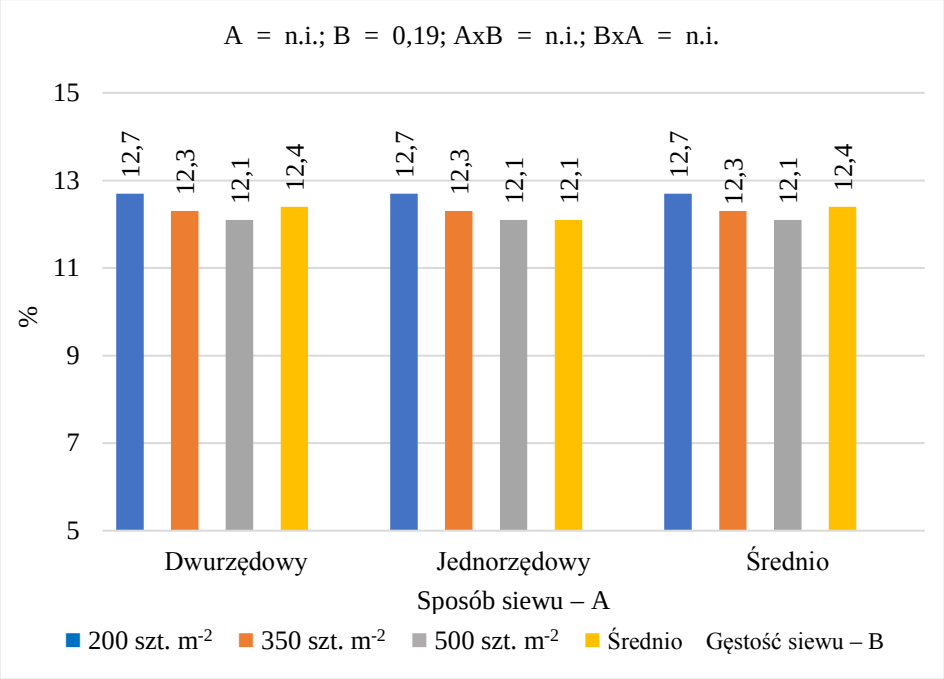
5.1.12. Zawartość białka w ziarnie

Najwięcej białka zawierało ziarno pszenicy ozimej w drugim roku badań, tj. 13,0% i było to odpowiednio o 1,1 i 0,7 punktów procentowych więcej niż w latach 2016/2017 i 2018/2019. Z badanych czynników tylko gęstość siewu wpłynęła istotnie na tę cechę jakości ziarna zarówno w każdym roku uprawy (tab. 15), jak i średnio w całym okresie badań (rys. 12). Ziarno pszenicy wysiewanej w najmniejszej gęstości, tj. 200 ziaren m^{-2} zawierało istotnie więcej białka niż pochodzące z siewu roślin w gęstości 350 ziaren m^{-2} i 500 ziaren m^{-2} – lata 2016/2017 oraz 2017/2018 lub tylko z wysiewu 500 ziaren m^{-2} – 2018/2019 rok.

Zawartość białka w ziarnie pszenicy ozimej średnio z trzyletniego okresu badań polowych zawierało tym więcej białka, im mniejsza była gęstość siewu tej rośliny w zakresie 200-500 ziaren m^{-2} (rys. 12).

Tabela 15. Zawartość białka w ziarnie (%)

Czynnik B gęstość siewu (ziaren m^{-2})	Czynnik A – sposób siewu		średnia
	Dwurzędowy	Jednorzędowy	
2016/2017			
200	12,2	12,5	12,3
350	11,8	11,7	11,8
500	11,5	11,6	11,6
średnia	11,8	11,9	11,9
NIR (test Tukeya) p = 0,05: A = n.i. B = 0,34 B/A = n.i. A/B = n.i.			
2017/2018			
200	13,3	13,2	13,2
350	13,1	12,8	12,9
500	12,8	12,8	12,8
średnia	13,1	12,9	13,0
NIR (test Tukeya) p = 0,05: A = n.i. B = 0,29 B/A = n.i. A/B = n.i.			
2018/2019			
200	12,6	12,4	12,5
350	12,2	12,3	12,2
500	12,1	12,0	12,1
średnia	12,3	12,2	12,3
NIR (test Tukeya) p = 0,05: A = n.i. B = 0,34 B/A = n.i. A/B = n.i.			



Rys. 12. Średnia zawartość białka w ziarnie w latach badań (2016-2019)

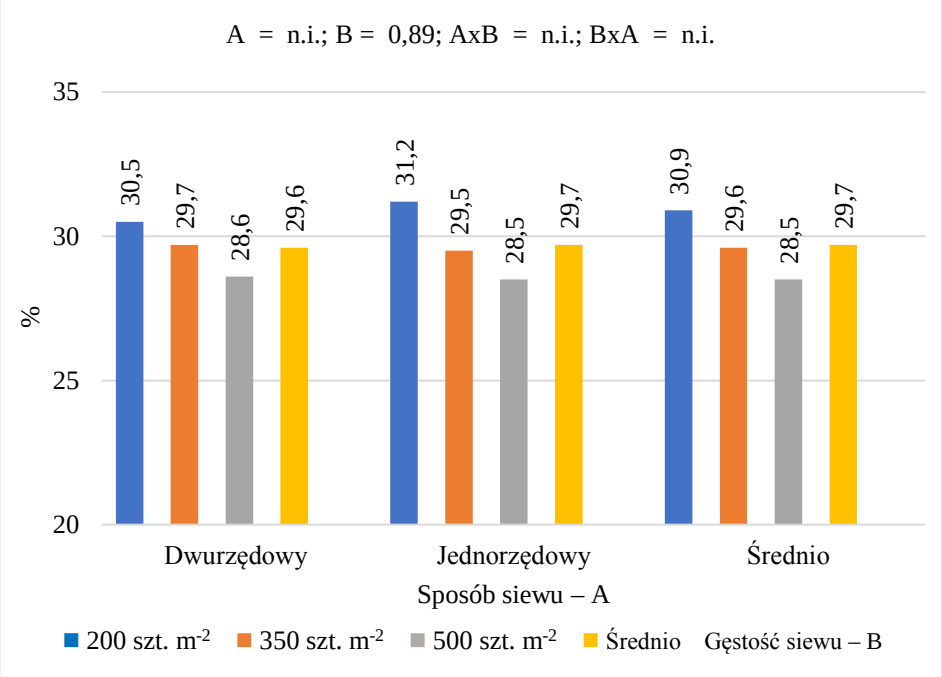
5.1.13. Zawartość glutenu mokrego

Najmniej glutenu mokrego zawierało ziarno pszenicy ozimej w pierwszym roku badań, a jego zawartość zależała tylko od gęstości siewu (tab. 16). Również w kolejnych latach wystąpił istotny wpływ gęstości siewu na tę cechę i była ona największa u ziarna pszenicy wysiewanej w najmniejszej gęstości. Zwiększenie gęstości siewu z 200 ziaren m^{-2} do 350 ziaren m^{-2} i 500 ziaren m^{-2} oraz 500 ziaren m^{-2} skutkowało istotnym zmniejszeniem zawartości glutenu w ziarnie, odpowiednio w latach 2016/2017 oraz 2017/2018 i 2018/2019.

Wyniki trzyletniego doświadczenia polowego wskazują, że średnio w tym okresie zawartość glutenu mokrego w ziarnie pszenicy ozimej była tym większa, im większa była gęstość jej siewu (rys. 13).

Tabela 16. Zawartość glutenu mokrego w ziarnie (%)

Czynnik B gęstość siewu (ziaren m^{-2})	Czynnik A – sposób siewu		Średnia
	Dwurzędowy	Jednorzędowy	
2016/2017			
200	24,1	24,8	24,5
350	22,8	22,4	22,6
500	21,3	22,0	21,6
Średnia	22,7	23,1	22,9
NIR (test Tukeya) p = 0,05: A = n.i. B = 1,01 B/A = n.i. A/B = n.i.			
2017/2018			
200	35,2	34,9	35,0
350	35,0	34,8	34,9
500	33,4	33,2	33,3
Średnia	34,5	34,3	34,4
NIR (test Tukeya) p = 0,05: A = n.i. B = 1,06 B/A = n.i. A/B = n.i.			
2018/2019			
200	32,2	34,0	33,1
350	31,3	31,2	31,2
500	30,9	30,4	30,6
Średnia	31,5	31,8	31,7
NIR (test Tukeya) p = 0,05: A = n.i. B = 2,05 B/A = n.i. A/B = n.i.			



Rys. 13. Średnia zawartość glutenu mokrego w ziarnie w latach badań (2016-2019)

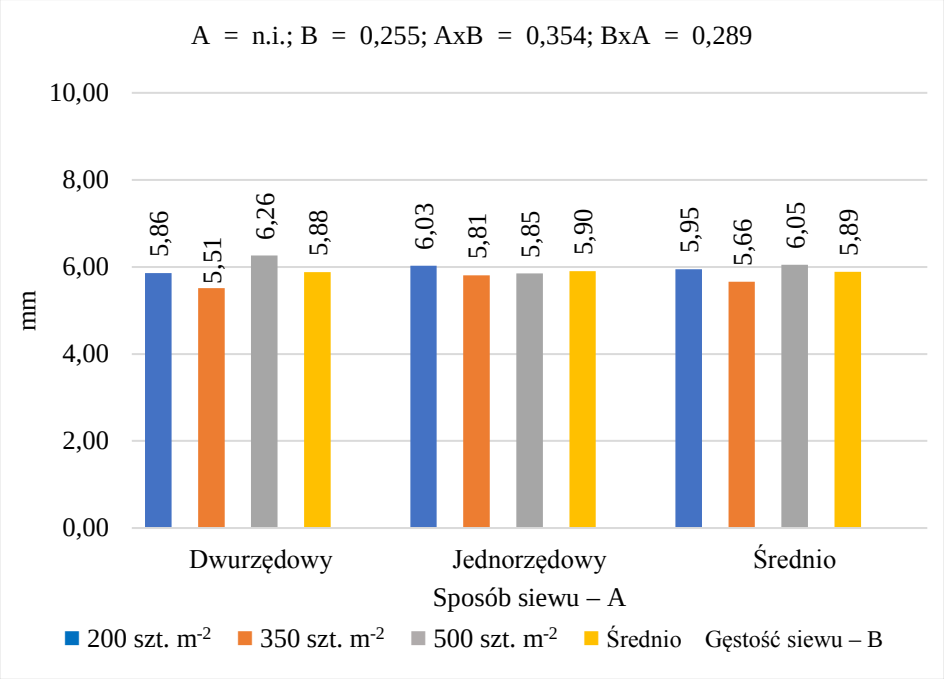
5.1.14. Rozpływalność glutenu

Największą rozpływalnością glutenu cechowało się ziarno uzyskane ze zbioru w drugim roku badań, która średnio wynosiła 8,11 mm. W pozostałych dwóch latach wartości tej cechy jakości ziarna nie przekraczały 5,5 mm. Rozpływalność glutenu ziarna w żadnym roku badań nie zależała istotnie od parametrów siewu, tj. sposobu i gęstości (tab. 17).

Średnio w trzyletnim okresie cechę tę kształtowała gęstość siewu pszenicy ozimej i jej współdziałanie ze sposobem siewu (rys. 14). Duża gęstość siewu, 500 ziaren m^{-2} spowodowała, że rozpływalność glutenu była istotnie większa niż przy wysiewie 350 ziaren m^{-2}. Wpływ gęstego siewu na zwiększenie rozpływalności glutenu wystąpił jednak tylko przy siewie dwurzędowym.

Tabela 17. Rozpływalność glutenu ziarna (mm)

Czynnik B gęstość siewu (ziaren m^{-2})	Czynnik A – sposób siewu		Średnia
	Dwurzędowy	Jednorzędowy	
2016/2017			
200	4,10	4,00	4,05
350	3,72	4,00	3,86
500	4,67	4,12	4,39
średnia	4,16	4,04	4,10
NIR (test Tukeya) p = 0,05: A = n.i. B = n.i. B/A = n.i. A/B = n.i.			
2017/2018			
200	8,27	8,50	8,38
350	7,65	7,93	7,79
500	8,38	7,95	8,17
średnia	8,10	8,13	8,11
NIR (test Tukeya) p = 0,05: A = n.i. B = n.i. B/A = n.i. A/B = n.i.			
2018/2019			
200	5,22	5,60	5,41
350	5,17	5,48	5,32
500	5,72	5,48	5,60
średnia	5,37	5,52	5,44
NIR (test Tukeya) p = 0,05: A = n.i. B = n.i. B/A = n.i. A/B = n.i.			



Rys. 14. Średnia rozpływalność glutenu ziarna w latach badań (2016-2019)

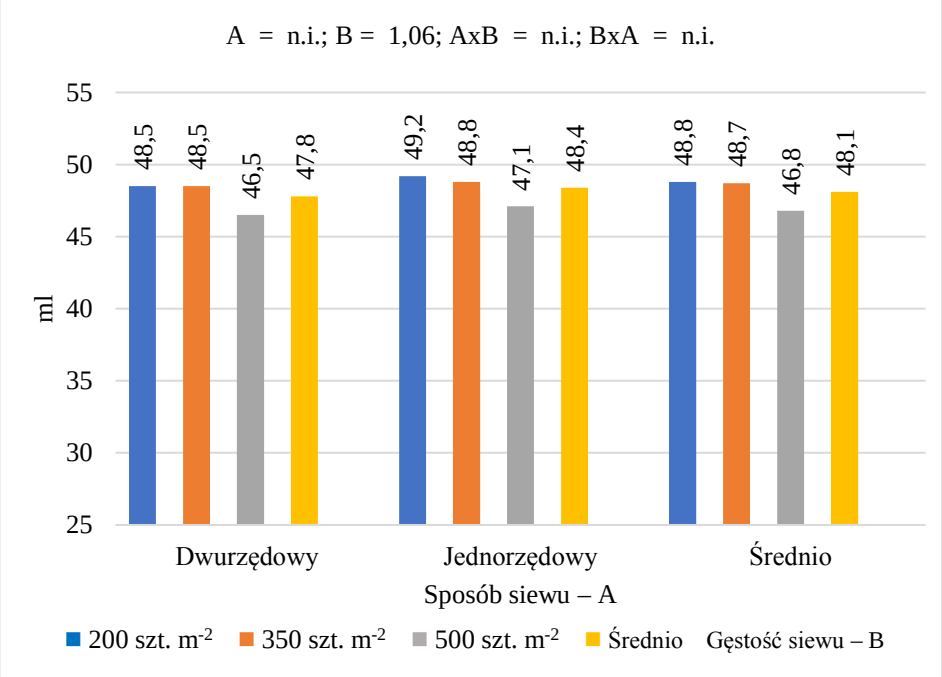
5.1.15. Wskaźnik sedymentacji

Wskaźnik sedymentacji ziarna pszenicy ozimej tylko w jednym, pierwszym roku badań, ale również średnio w trzyletnim okresie został zróżnicowany przez gęstość siewu (tab. 18, rys. 15).

Ziarno z obiektów, na których zastosowano mniejszą gęstość siewu, tj. 200 ziaren m^{-2} i 350 ziaren m^{-2} cechowało się istotnie większym wskaźnikiem sedymentacji w porównaniu z ziarnem pszenicy wysiewanej w gęstości 500 ziaren m^{-2}.

Tabela 18. Wskaźnik sedymentacji (ml)

Czynnik B gęstość siewu (ziaren m^{-2})	Czynnik A – sposób siewu		Średnia
	Dwurzędowy	Jednorzędowy	
2016/2017			
200	36,0	37,5	36,7
350	36,7	35,7	36,2
500	33,3	35,3	34,3
średnia	35,3	36,2	35,7
NIR (test Tukeya) p = 0,05: A = n.i. B = 1,89 B/A = n.i. A/B = n.i.			
2017/2018			
200	53,3	53,3	53,3
350	52,3	53,5	52,9
500	52,0	51,2	51,6
średnia	52,6	52,7	52,6
NIR (test Tukeya) p = 0,05: A = n.i. B = n.i. B/A = n.i. A/B = n.i.			
2018/2019			
200	56,2	56,7	56,4
350	56,5	57,3	56,9
500	54,2	54,8	54,5
średnia	55,6	56,3	55,9
NIR (test Tukeya) p = 0,05: A = n.i. B = n.i. B/A = n.i. A/B = n.i.			



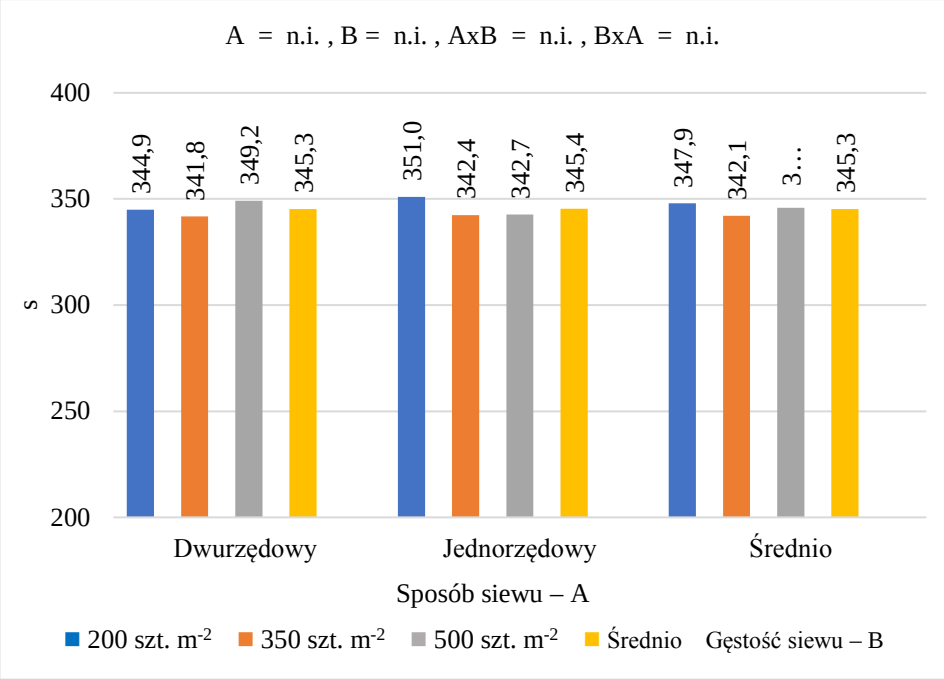
Rys. 15. Średni wskaźnik sedymentacji w latach badań (2016-2019)

5.1.16. Liczba opadania

Liczba opadania, jako cecha jakości ziarna pszenicy ozimej, nie była zróżnicowana przez czynniki doświadczalne ani przez ich interakcyjne oddziaływanie zarówno w poszczególnych latach, jak i w całym trzyletnim okresie badań (tab. 19, rys. 16). Największą wartością tej cechy charakteryzowało się ziarno ze zbioru w 2019 roku (trzeci rok), a najmniejszą z 2017 roku (pierwszy rok). Różnica wyniosła 69,8 sekund.

Tabela 19. Liczba opadania (s)

Czynnik B gęstość siewu (ziaren m^{-2})	Czynnik A – sposób siewu		Średnia
	Dwurzędowy	Jednorzędowy	
2016/2017			
200	314,0	316,3	315,2
350	303,7	311,0	307,3
500	300,3	308,0	304,2
średnia	306,0	311,8	308,9
NIR (test Tukeya) p = 0,05: A = n.i. B = n.i. B/A = n.i. A/B = n.i.			
2017/2018			
200	346,3	347,3	346,8
350	342,5	345,8	344,2
500	359,3	349,3	354,3
średnia	349,4	347,5	348,4
NIR (test Tukeya) p = 0,05: A = n.i. B = n.i. B/A = n.i. A/B = n.i.			
2018/2019			
200	374,3	389,3	381,8
350	379,2	370,3	374,7
500	388,0	370,7	379,3
średnia	380,5	376,8	378,7
NIR (test Tukeya) p = 0,05: A = n.i. B = n.i. B/A = n.i. A/B = n.i.			



Rys. 16. Średnia wielkość liczby opadania w latach badań (2016-2019)

5.2. Doświadczenie nr 2

5.2.1. Obsada roślin po wschodach

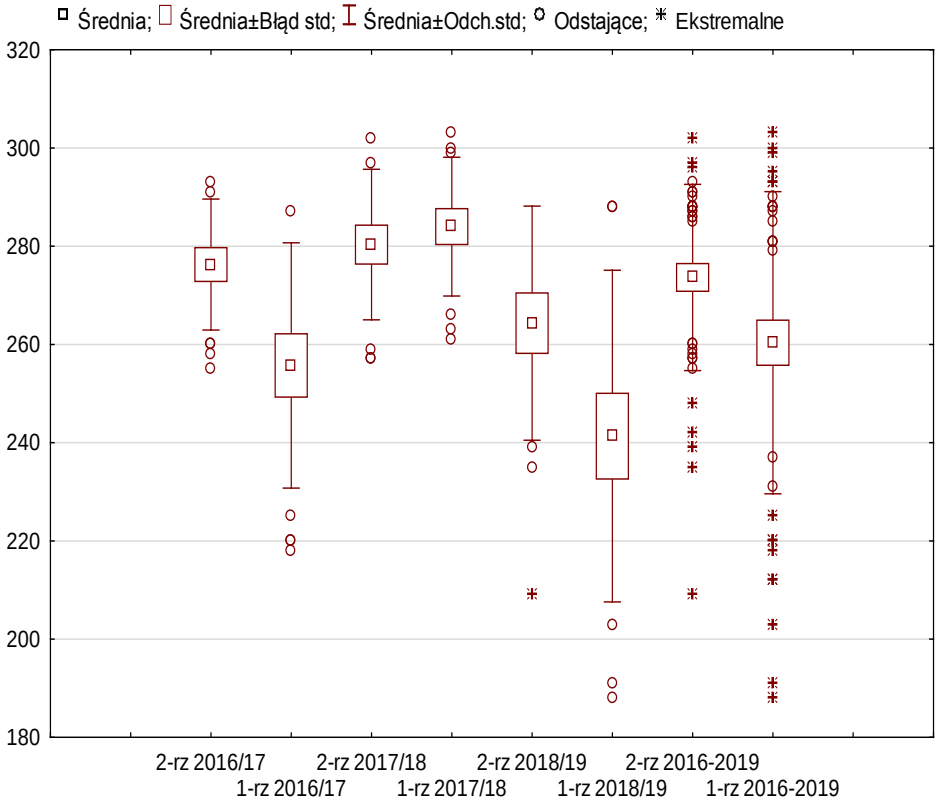
Sposób uprawy roli i siewu wpłynął istotnie na obsadę roślin pszenicy ozimej w dwóch z trzech lat badań, z wyjątkiem roku 2017/2018 (tab. 20). W pierwszym i trzecim roku obsada roślin pszenicy wysianej dwurzędowo w technologii pasowej uprawy roli była większa odpowiednio o 20,6 szt. m^{-2} oraz 23,0 szt. m^{-2} niż po siewie tradycyjnie jednorzędowym poprzedzonym cało powierzchniową bezpłużną uprawą roli. Podobnie, średnio w całym okresie badań obsada roślin wskutek siewu dwurzędowego była większa niż po siewie jednorzędowym, chociaż różnica wynosząca 13,4 szt. m^{-2} nie została potwierdzona statystycznie.

Tabela 20. Obsada roślin po wschodach (szt. m^{-2})

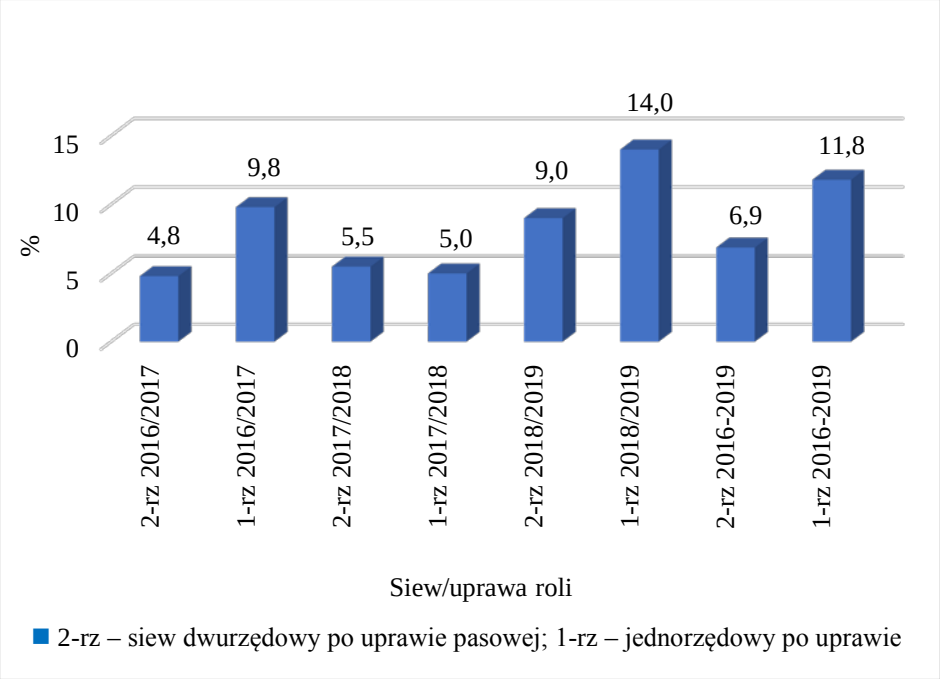
Siew/uprawa roli	Rok badań			Średnia
	2016/2017	2017/2018	2018/2019	
Dwurzędowy po uprawie pasowej	276,3	280,3	264,3	273,7
Jednorzędowy po uprawie bezpłużnej	255,7	284,0	241,3	260,3
NIR; p = 0,05	18,31	n.i.	13,14	n.i.

Porównanie wielkości odchylenia standardowego obsady roślin w obrębie obiektów doświadczenia wskazuje, że siew dwurzędowy wykonywany podczas pasowej uprawy roli spowodował mniejsze przestrzenne zróżnicowanie obsady roślin niż siew jednorzędowy po spulchnieniu całej powierzchni gleby (rys. 17). Taka zależność równomierności obsady roślin od sposobu uprawy roli i siewu wystąpiła w latach 2016/2017, 2018/2019 i średnio w trzyletnim okresie badań.

Współczynnik zmienności obsady roślin w obrębie całego obiektu obsianego dwurzędowo był mniejszy niż po siewie jednorzędowym o 5,0 punktów procentowych – 2016/2017 i 2018/2019 rok oraz 4,9 pkt. % średnio w okresie badań (rys. 18).



Rys. 17. Równomierność przestrzenna obsady roślin po wschodach w latach 2016-2019 (2-rz – siew dwurzędowy po uprawie pasowej; 1-rz – siew jednorzędowy po uprawie bezpłużnej)



Rys. 18. Współczynnik zmienności obsady roślin po wschodach w latach 2016-2019

5.2.2. Wskaźnik zieloności liści

Tylko w pierwszym roku badań sposób siewu, poprzedzony zróżnicowaną uprawą roli, nie wpłynął istotnie na wskaźnik zieloności liścia flagowego (tab. 21). W pozostałych dwóch latach jak i średnio w trzyletnim okresie badań, siew dwurzędowy wykonywany łącznie z pasową uprawą roli, spowodował zwiększenie wskaźnika zieloności liści flagowych pszenicy ozimej w porównaniu z roślinami rosnącymi w pojedynczych rzędach po uprawie bezpłużnej. Bezwzględna różnica wskaźnika SPAD wyniosła: 27,7 – 2017/2018 rok; 46,7 – 2018/2019 rok; 32,7 – średnio w okresie badań. Także w 2016/2017 roku wskaźnik SPAD liści pszenicy ozimej wysianej dwurzędowo był większy niż roślin z siewu jednorzędowego, chociaż różnica – 23,6 nie została potwierdzona statystycznie.

Tabela 21. Wskaźnik zieloności liścia flagowego (SPAD)

Siew/uprawa roli	Rok badań			Średnia
	2016/2017	2017/2018	2018/2019	
Dwurzędowy po uprawie pasowej	655,3	623,7	669,7	649,6
Jednorzędowy po uprawie bezpłużnej	631,7	596,0	623,0	616,9
NIR; p = 0,05	n.i.	25,37	16,16	30,53

5.2.3. Długość źdźbła

Sposób siewu w połączeniu z uprawą roli wpłynął istotnie na długość źdźbła pszenicy ozimej w latach 2016/2017 i 2018/2019, nie kształtował natomiast tej cechy w sezonie 2017/2018 i średnio w trzyletnim okresie badań (tab. 22). Pszenica wysiewana w dwóch rzędach w pasie uprawianej gleby miała krótsze źdźbła niż występująca w pojedynczych rzędach. Różnica istotna miała miejsce w pierwszym i trzecim roku doświadczenia polowego, natomiast w drugim roku i średnio w całym okresie była to tendencja wynosząca odpowiednio 0,9 cm i 2,9 cm.

Tabela 22. Długość źdźbła (cm)

Siew/uprawa roli	Rok badań			Średnia
	2016/2017	2017/2018	2018/2019	
Dwurzędowy po uprawie pasowej	82,4	75,1	86,0	81,2
Jednorzędowy po uprawie bezpłużnej	86,0	76,0	90,3	84,1
NIR; p = 0,05	1,51	n.i.	2,02	n.i.

5.2.4. Obsada kłosów

Obsada kłosów pszenicy ozimej wysianej dwurzędowo w technologii z pasową uprawą roli była w każdym roku większa niż po siewie jednorzędowym poprzedzonym spulchnianiem całej powierzchni gleby. Istotność różnicy wielkości tej cechy została potwierdzona w latach 2017/2018, 2018/2019 oraz średnio w trzech latach badań, kiedy wyniosła ona odpowiednio 45,3 szt. m^{-2}; 50 szt. m^{-2} i 39,8 szt. m^{-2} (tab. 23).

Tabela 23. Obsada kłosów (szt. m^{-2})

Siew/uprawa roli	Rok badań			Średnia
	2016/2017	2017/2018	2018/2019	
Dwurzędowy po uprawie pasowej	676,7	572,3	683,7	644,2
Jednorzędowy po uprawie bezpłużnej	652,0	527,0	633,7	604,4
NIR; p = 0,05	n.i.	16,54	25,21	33,49

5.2.5. Liczba ziaren w kłosie

Nie stwierdzono istotnego wpływu sposobu siewu i związanego z nim sposobu uprawy roli na liczbę ziaren w kłosie pszenicy ozimej, a różnice wielkości tej cechy to tylko tendencje statystyczne (tab. 24). W latach 2016/2017, 2018/2019 i średnio w okresie badań liczba ziaren w kłosie pszenicy wysianej dwurzędowo była większa odpowiednio o 1,1 szt., 1,5 szt. i 0,6 szt. niż wysiewanej w pojedynczych rzędach po bezpłużnej uprawie roli. Z kolei w 2017/2018

roku liczba ziaren w kłosie pszenicy wysiewanej jednorzędowo była większa o 0,7 szt. w porównaniu z pszenicą uprawianą w podwójnych rzędach, w pasach spulchnionej gleby.

Tabela 24. Liczba ziaren w kłosie (szt.)

Siew/uprawa roli	Rok badań			Średnia
	2016/2017	2017/2018	2018/2019	
Dwurzędowy po uprawie pasowej	30,3	27,4	31,5	29,7
Jednorzędowy po uprawie bezpłużnej	29,2	28,1	30,0	29,1
NIR; p = 0,05	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.

5.2.6. Masa ziarna z kłosa

Masa ziarna z kłosa tylko w jednym, pierwszym roku badań, zależała od sposobu siewu i poprzedzającej go uprawy roli (tab. 25). Wówczas masa ziarna z kłosa pszenicy ozimej wysiewanej dwurzędowo w pasach uprawianej gleby była istotnie, o 0,05 g większa niż masa ziarna z kłosa rośliny zbożowej wysiewanej w pojedynczych rzędach w glebę spulchnianą na całej powierzchni pola. W pozostałych latach sposób siewu w mniejszym, mniej istotnym stopniu różnicował tę cechę, tj. o 0,01 g – 0,03 g.

Tabela 25. Masa ziarna z kłosa (g)

Siew/uprawa roli	Rok badań			Średnia
	2016/2017	2017/2018	2018/2019	
Dwurzędowy po uprawie pasowej	1,19	1,13	1,36	1,22
Jednorzędowy po uprawie bezpłużnej	1,14	1,14	1,33	1,20
NIR; p = 0,05	0,048	n.i.	n.i.	n.i.

5.2.7. Plon ziarna

Plon ziarna pszenicy ozimej w każdym roku badań zależał od czynnika doświadczalnego. Siew dwurzędowy wykonywany bezpośrednio po uprawie pasowej roli w porównaniu z siewem jednorzędowym po uprawie bezpłużnej zwiększył plon ziarna pszenicy o 0,48 t ha^{-1}; 0,50 t ha^{-1} i 0,93 t ha^{-1}, odpowiednio w latach 2016/2017, 2017/2018 i 2018/2019. Różnice te były istotne statystycznie (tab. 26). Także średnio w całym trzyletnim okresie plon ziarna pod wpływem siewu dwurzędowego był istotnie większy niż po siewie jednorzędowym, a różnica wyniosła 0,64 t ha^{-1}.

Tabela 26. Plon ziarna (t ha^{-1})

Siew/uprawa roli	Rok badań			Średnia
	2016/2017	2017/2018	2018/2019	
Dwurzędowy po uprawie pasowej	7,89	6,39	9,23	7,84
Jednorzędowy po uprawie bezpłużnej	7,41	5,89	8,30	7,20
NIR; p = 0,05	0,075	0,025	0,453	0,636

5.2.8. Masa tysiąca ziaren

Masa tysiąca ziaren w poszczególnych latach badań była niezależna od sposobu siewu i poprzedzającej go uprawy roli (tab. 27). W latach 2016/2017, 2017/2018 i średnio w wieloleciu zaznaczyła się tylko tendencja korzystnego wpływu siewu dwurzędowego po pasowej uprawie roli na masę tysiąca ziaren w porównaniu z siewem jednorzędowym poprzedzonym cało powierzchniową uprawą spulchniającą.

Tabela 27. Masa tysiąca ziaren (g)

Siew/uprawa roli	Rok badań			Średnia
	2016/2017	2017/2018	2018/2019	
Dwurzędowy po uprawie pasowej	41,4	39,8	44,1	41,7
Jednorzędowy po uprawie bezpłużnej	40,3	39,3	44,2	41,3
NIR; p = 0,05	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.

5.2.9. Gęstość ziarna w stanie zsypnym

Istotny wpływ sposobu siewu i poprzedzającej go uprawy roli na gęstość ziarna w stanie zsypnym miał miejsce tylko 2017/2018 roku, kiedy masa hektolitra ziarna pszenicy ozimej wysianej dwurzędowo w pasach spulchnianej gleby była większa o 1,2 kg niż ziarna uzyskanego po siewie jednorzędowym i cało powierzchniowej uprawie roli (tab. 28). W pozostałych dwóch latach i średnio w okresie badań nie stwierdzono istotnego zróżnicowania wielkości tej cechy przez sposób siewu i uprawy roli. Różnice gęstość ziarna w stanie zsypnym wynoszące 0,2 kg hl^{-1} i 0,4 kg hl^{-1} były tylko tendencją.

Tabela 28. Gęstość ziarna w stanie zsypnym (kg hl^{-1})

Siew/uprawa roli	Rok badań			Średnia
	2016/2017	2017/2018	2018/2019	
Dwurzędowy po uprawie pasowej	76,2	75,1	75,9	75,2
Jednorzędowy po uprawie bezpłużnej	76,0	73,9	75,5	75,2
NIR; p = 0,05	n.i.	0,57	n.i.	n.i.

5.2.10. Wyrównanie ziarna

W pierwszym i trzecim roku badań sposób siewu i uprawy roli miał istotny wpływ na wyrównanie ziarna. W obu tych latach najlepiej wyrównane ziarno pochodziło z obiektu, na którym pszenicę ozimą wysiewano w podwójnych rzędach (tab. 29). Po siewie dwurzędowym w pasach spulchnionej gleby udział wagowy ziarna frakcji > 2,5 mm w plonie był większy, odpowiednio do roku badań, o 0,7 i 2,7 punktów procentowych niż w efekcie siewu pszenicy w pojedynczych rzędach po bezpłużnej uprawie roli. W 2017/2018 roku i średnio w całym okresie badań korzystny wpływ siewu dwurzędowego na wyrównanie ziarna nie został potwierdzony statystycznie.

Tabela 29. Wyrównanie ziarna (%)

Siew/uprawa roli	Rok badań			Średnia
	2016/2017	2017/2018	2018/2019	
Dwurzędowy po uprawie pasowej	94,5	89,7	92,8	92,3
Jednorzędowy po uprawie bezpłużnej	93,8	88,2	90,1	90,7
NIR; p = 0,05	0,25	n.i.	2,35	n.i.

5.2.11. Zawartość białka w ziarnie

Zawartość białka w ziarnie pszenicy ozimej wysiewanej dwurzędowo w pasach uprawianej gleby w latach 2016/2017 i 2017/2018 była istotnie większa niż w ziarnie z roślin uprawianych w pojedynczych rzędach po uprawie bezpłużnej, a różnica wyniosła odpowiednio 0,5 i 1,5 punktu procentowego (tab. 30). Istotnie więcej białka w ziarnie pszenicy wysiewanej dwurzędowo stwierdzono również średnio w trzyletnim okresie badań, a w 2018/2019 roku była to wyraźna tendencja.

Tabela 30. Zawartość białka w ziarnie (%)

Siew/uprawa roli	Rok badań			Średnia
	2016/2017	2017/2018	2018/2019	
Dwurzędowy po uprawie pasowej	13,4	14,3	13,1	13,6
Jednorzędowy po uprawie bezpłużnej	12,9	13,8	12,7	13,1
NIR; p = 0,05	0,38	0,25	n.i.	0,27

5.2.12. Zawartość glutenu mokrego

Sposób siewu i poprzedzającej go uprawy roli istotnie wpłynął na zawartość glutenu mokrego w ziarnie pszenicy zarówno w każdym z trzech lat badań, jak i średnio w okresie 2016-2019 (tab. 31). Siew dwurzędowy z pasową uprawą roli przyczynił się do zwiększenia zawartości glutenu w ziarnie w porównaniu

z siewem jednorzędowym po cało powierzchniowej uprawie bezpłużnej, a różnica w kolejnych latach wyniosła 0,9; 1,6 i 1,7 punktu procentowego. Różnica zawartości glutenu mokrego w ziarnie pszenicy ozimej średnio w całym okresie badań wyniosłą 1,4 punktu procentowego i również była statystycznie istotna.

Tabela 31. Zawartość glutenu mokrego w ziarnie (%)

Siew/uprawa roli	Rok badań			Średnia
	2016/2017	2017/2018	2018/2019	
Dwurzędowy po uprawie pasowej	30,9	34,6	30,9	32,1
Jednorzędowy po uprawie bezpłużnej	30,0	33,0	29,2	30,7
NIR; p = 0,05	0,72	0,86	1,31	1,32

5.2.13. Rozpływalność glutenu

Rozpływalność glutenu była zróżnicowana w latach prowadzenia doświadczeń polowych, największa w pierwszym roku i mniejsza w latach 2017/2018 i 2018/2019 (tab. 32). Nie wystąpił natomiast istotny wpływ sposobu siewu i uprawy roli na wielkość tej cechy jakości ziarna ani w poszczególnych latach, ani średnio w całym trzyletnim okresie.

Tabela 32. Rozpływalność glutenu ziarna (mm)

Siew/uprawa roli	Rok badań			Średnia
	2016/2017	2017/2018	2018/2019	
Dwurzędowy po uprawie pasowej	7,77	4,37	6,00	6,04
Jednorzędowy po uprawie bezpłużnej	7,70	4,19	5,87	5,92
NIR; p = 0,05	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.

5.2.14. Wskaźnik sedymentacji

W pierwszych dwóch latach badań wykazano istotny wpływ sposobu siewu i uprawy roli na wskaźnik sedymentacji, natomiast w 2018/2019 roku i średnio w okresie badań różnice jego wielkości były nieistotne (tab. 33). Wskaźnik sedymentacji ziarna pszenicy ozimej wysiewanej dwurzędowo w latach 2016/2017 i 2017/2018 był większy niż ziarna uzyskanego z siewu jednorzędowego odpowiednio o 1,5 ml i 2,9 ml. W trzecim roku badań i średnio w całym ich okresie różnice wielkości tej cechy ziarna pochodzącego z porównywalnych obiektów, a wynoszące 0,8 ml i 1,8 ml były tylko tendencją.

Tabela 33. Wskaźnik sedymentacji (ml)

Siew/uprawa roli	Rok badań			Średnia
	2016/2017	2017/2018	2018/2019	
Dwurzędowy po uprawie pasowej	43,8	48,7	45,0	45,9
Jednorzędowy po uprawie bezpłużnej	42,3	45,8	44,2	44,1
NIR; p = 0,05	1,22	0,38	n.i.	n.i.

5.2.15. Liczba opadania

Zarówno w kolejnych latach, jak i średnio w okresie badań nie stwierdzono wpływu sposobu siewu i poprzedzającej go uprawy roli na liczbę opadania jako cechę jakości ziarna (tab. 34). Różnice wielkości tej cechy właściwe dla porównywanych poziomów czynnika doświadczenia, a wynoszące 2,3-6,6 s były statystycznie nieistotne.

Tabela 34. Liczba opadania (s)

Siew/uprawa roli	Rok badań			Średnia
	2016/2017	2017/2018	2018/2019	
Dwurzędowy po uprawie pasowej	346,3	358,0	320,1	341,7
Jednorzędowy po uprawie bezpłużnej	348,7	360,3	326,7	345,2
NIR; p = 0,05	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.

5.2.16. Zużycie paliwa

Porównywane elementy agrotechniki pszenicy ozimej wpłynęły istotnie na zużycie paliwa (tab. 35). W każdym roku badań i średnio w wieloleciu nakład paliwa na siew dwurzędowy w technologii pasowej uprawy roli był ponad 2,5-krotnie mniejszy niż na siew jednorzędowy po wcześniej wykonanej cało powierzchniowej uprawie bezpłużnej. Bezwzględna różnica zużycia paliwa wyniosła odpowiednio w kolejnych latach badań polowych: 21,7 l ha^{-1}; 17,9 l ha^{-1}; 22,1 l ha^{-1} i średnio w wieloleciu – 20,5 l ha^{-1}.

Tabela 35. Zużycie paliwa (l ha^{-1})

Siew/uprawa roli	Rok badań			Średnia
	2016/2017	2017/2018	2018/2019	
Dwurzędowy po uprawie pasowej	13,1	11,9	14,2	13,1
Jednorzędowy po uprawie bezpłużnej	34,8	29,8	36,3	33,6
NIR; p = 0,05	3,85	0,52	3,48	5,74

5.2.17. Czas pracy

Różnica nakładów czasu pracy na wykonanie siewu dwurzędowego z pasową uprawą a na siew jednorzędowy po uprawie bezpłużnej całej powierzchni gleby była jeszcze większa niż różnica zużycia paliwa. Czas potrzebny na wykonanie siewu dwurzędowego i pasową uprawę roli był w poszczególnych latach krótszy o: 60,1 min ha^{-1}; 51,8 min ha^{-1} i 61,2 min ha^{-1} niż czas absorbowany przez siew jednorzędowy i uprawę cało powierzchniową. Różnica ta średnio w trzyletnim okresie badań wyniosła 57,7 min ha^{-1} (tab. 36).

Tabela 36. Nakład czasu pracy (min ha^{-1})

Siew/uprawa roli	Rok badań			Średnia
	2016/2017	2017/2018	2018/2019	
Dwurzędowy po uprawie pasowej	25,2	23,6	28,9	25,9
Jednorzędowy po uprawie bezpłużnej	85,3	75,4	90,1	83,6
NIR; p = 0,05	7,45	11,61	8,12	12,83

5.2.18. Rachunek ekonomiczny

Wartość produkcji oraz nadwyżka bezpośrednia pszenicy ozimej wysiewanej pasowo w podwójnych rzędach była, wskutek większego plonu ziarna, o 640 zł ha^{-1} większa niż pszenicy wysiewanej tradycyjnie rzędowo (tab. 37). Po uwzględnieniu kosztów paliwa i robocizny bezpośrednio ponoszonych na uprawę pszenicy zgodnie z przyjętą technologią, efekt ekonomiczny uprawy z zastosowaniem siewu dwurzędowego w pasy spulchnianej gleby z jednoczesną aplikacją nawozów był większy o 773 zł ha^{-1} od efektu ekonomicznego uprawy pszenicy ozimej wysiewanej tradycyjnie rzędowo po wcześniej wykonanej bezłużnej cało powierzchniowej uprawie roli.

Tabela 37. Efekt ekonomiczny (zł ha^{-1}) zróżnicowany przez sposób siewu

Wyszczególnienie	Siew/uprawa roli	
	Dwurzędowy po uprawie pasowej	Jednorzędowy po uprawie bezpłużnej
Wartość produkcji	**7840**	**7200**
Koszty:		
Materiał siewny	413	413
Nawozy	1221	1221
Środki ochrony roślin	691	691
Nadwyżka bezpośrednia	**5515**	**4875**
Paliwo	69	178
Praca	11	35
Efekt ekonomiczny	**5435**	**4662**

6. DYSKUSJA

Zmienność w badaniach polowych wynika nie tylko z kontrolowanego oddziaływania czynników doświadczalnych, ale również z niekontrolowanego wpływu siedliska, w tym przebiegu pogody. Według Bąka (2003) Kujawy należą do najcieplejszych i bardzo suchych regionów w Polsce. W rejonie Bydgoszczy średnia roczna temperatura powietrza wynosi około 8,0°C, natomiast przybliżona suma opadów to 500 mm, z tego w półroczu letnim 300 mm (Atlas klimatu Polski 2005). Cechą charakterystyczną klimatu tego regionu jest duża zmienność czasowa warunków meteorologicznych, co zwiększa klimatyczne ryzyko uprawy roślin (Kuśmierek-Tomaszewska i in. 2018). Januszewska-Klapa (2016) wskazuje, że w województwie kujawsko-pomorskim temperatura powietrza, opady atmosferyczne, dostępność wody glebowej dla roślin cechują się bardzo dużą zmiennością czasową. Istotne zmiany parametrów agrometeorologicznych na przełomie XX i XXI wieku dotyczyły przede wszystkim wzrostu temperatury powietrza, głównie w półroczu letnim i okresach największego zapotrzebowania roślin na wodę. Posuchy atmosferyczne pojawiały się nieregularnie w blisko 40% lat. Taka charakterystyka agroklimatyczna rejonu badań tłumaczy istotny wpływ lat badań i ich interakcję z czynnikami doświadczalnymi na wiele cech pszenicy ozimej, uzasadnia również prezentację wyników z każdego roku oprócz średnich dla trzyletniego okresu badań. Istotny wpływ lat badań stwierdzono np. w odniesieniu do: obsady roślin, obsady kłosów, liczby ziaren w kłosie, masy ziarna z kłosa, masy tysiąca ziaren, zawartości białka i glutenu w ziarnie, czyli podstawowych cech plonowania pszenicy ozimej i jakości ziarna w obu doświadczeniach. Także plon ziarna w doświadczeniu nr 1 i nr 2 był zróżnicowany w latach badań.

Czynnik doświadczalny związany bezpośrednio lub pośrednio ze sposobem siewu (siew dwurzędowy i jednorzędowy) nie wpłynął na obsadę roślin w doświadczeniu nr 1, ale kształtował ją istotnie w niektórych latach w doświadczeniu nr 2. W doświadczeniu tym siew dwurzędowy związany technologicznie ze sposobem uprawy roli następował bezpośrednio po niej, bez wcześniejszego spulchniania, a tym samym przesuszania gleby. Prawdopodobnie dlatego w pierwszym i trzecim roku badań, kiedy siew przypadał w miesiącu z opadami wielokrotnie mniejszymi niż średnio w wieloleciu, obsada pszenicy po siewie dwurzędowym w pasy spulchnionej gleby była większa niż po siewie jednorzędowym poprzedzonym wcześniejszą uprawą cało powierzchniową. Natomiast siew dwurzędowy wykonany w okresie większej ilości opadów (wrzesień 2017) okazał się korzystny dla obsady powschodowej roślin w doświadczeniu nr 1, ale tylko przy dużej gęstości siewu – 500 ziaren m^{-2}.

Na istotną rolę wilgotności gleby na wschody roślin wskazują Podleśny i Podleśna (2003). Według autorów szybkość kiełkowania nasion i wschodów roślin łubinu białego zależała od wilgotności gleby w badanym zakresie, tj. 30-70% ppw. Najszybciej i w ilości około 90% wschodziły rośliny w glebie

o wilgotności 70% ppw. Zdolność wschodów roślin w glebie najsuchszej (30% ppw) była mniejsza o kilkanaście punktów procentowych. W tych warunkach wschody były również nierównomierne i opóźnione o około 3 dni. Na polach uprawnych oddziaływanie wilgotności gleby na wschody roślin, warunkowane przede wszystkim ilością i intensywnością opadów, zależy od wielu innych czynników siedliskowych i agrotechnicznych, w tym ilości resztek pożniwnych związanej ze sposobem uprawy gleby (Schillinger 2011).

Mniejsza zmienność przestrzenna wschodów pszenicy ozimej i w konsekwencji obsady roślin w obrębie pola doświadczalnego po siewie dwurzędowym poprzedzonym pasową uprawą roli niż w wyniku tradycyjnego siewu rzędowego po cało powierzchniowej uprawie bezpłużnej była prawdopodobnie spowodowana korzystniejszymi i bardziej wyrównanymi warunkami (właściwościami gleby) na tym obiekcie. Na dużej powierzchni obiektu doświadczalnego trudno jest bowiem uniknąć zmienności glebowej, mimo poprawności metodycznej w momencie projektowania badań oraz rozlosowywania obiektów i poziomów czynnika. Dlatego każde działanie agrotechniczne ograniczające skutki zmienności środowiskowej ma odzwierciedlenie w większej równomierności cech roślin na ocenianej powierzchni. Takim elementem agrotechniki, a dokładniej ciągiem zabiegów agrotechnicznych, jest strefowa uprawa gleby zredukowana do wąskich jej pasów i wykonywany w tym samym momencie siew, co ogranicza rozluźnienie, napowietrzenie i przesuszenie gleby (Jaskulska i Jaskulski 2020). Jak podają Jaskulska i in. (2020b) taki sposób uprawy roli i siewu zwiększa ilość wody dostępnej dla roślin w glebie. Według autorów prowadzących badania również w regionie Kujaw i Pomorza zastąpienie klasycznej uprawy płużnej uprawą pasową z jednoczesnym siewem roślin zarówno jarych, jak i ozimych zwiększyło zapas wody w glebie odpowiednio o 97 t ha^{-1} i 82 t ha^{-1}. Większa wilgotność gleby uprawianej pasowo niż cało powierzchniowo wynika m.in. z oddziaływania resztek roślinnych pozostających na jej powierzchni (Ranaivoson i in. 2017). Mulcz ogranicza spływ powierzchniowy, obniża temperaturę gleby, zmniejsza parowanie wody i zwiększa jej infiltrację do głębszych warstw (Balwinder-Singh i in 2011, Kader i in. 2017). Duża ilość resztek roślinnych pozostających w nieuprawianych międzyrzędziach i tylko ich częściowe wymieszanie w spulchnianych pasach, a także wynikające z tego faktu dobre uwilgotnienie gleby tłumaczą zapewne większą równomierność obsady rzepaku ozimego (Jaskulska i in. 2018), jęczmienia ozimego (Jaskulska i in. 2019), czy również jak w badaniach własnych pszenicy ozimej (Jaskulska i in. 2020a) w zasiewach pasowych niż po cało powierzchniowej płużnej lub bezpłużnej uprawie roli.

Pszenica jest gatunkiem plastycznym, zmieniającym cechy fonotypowe, w tym decydujące o produkcyjności i plonowaniu w zależności od warunków siedliskowych i agrotechnicznych (Sadras i Rebetzke 2013). Daje to możliwość modelowania roślin i ich jak najlepsze dostosowanie nie tylko do warunków siedliskowych (Jaradat 2018), ale również agrotechnicznych. Jak podają Liu i in. (2016) zmiana rozstawy rzędów umożliwia optymalizację przestrzennego rozmieszczenie roślin i wykorzystania warunków świetlnych w łanie pszenicy.

Mniejszy lub większy odstęp między rzędami roślin decyduje o przenikaniu światła do niżej położonych liści. Architektura łanu wpływa bowiem na efektywność promieniowania słonecznego, wydajność fotosyntezy, produkcję biomasy, w tym wielkość plonu ziarna. Założono więc w badaniach własnych, że różna rozstawa pomiędzy rzędami pszenicy, w tym występowanie szerokich międzyrzędzi w siewie dwurzędowym pomiędzy pasami spulchnianej gleby, umożliwi lepsze wykorzystanie czynników siedliskowych i agrotechnicznych, a w efekcie końcowym poprawi jej cechy stanowiące o plonowaniu, plon ziarna i jego jakość. Wyniki wcześniejszych badań hipotezę taką uwiarygodniały. Już Sato i Takahashi (1983) wskazywali na istotne różnice wskaźnika (LAI), procesów fizjologicznych (transpiracja) i produkcyjności roślin znajdujących się w bezpośrednim sąsiedztwie wolnych przestrzeni w porównaniu z roślinami wewnątrz łanu. Zostało to wielokrotnie potwierdzone w badaniach rolniczych, również z udziałem pszenicy. Według Wang i in. (2017) promieniowanie PAR w skrajnych rzędach pszenicy było większe o 39,1–41,0% niż w rzędach wewnętrznych pasa siewnego. Natomiast Jaskulska i Jaskulski (2020) porównując wskaźniki fizjologiczne i morfologiczne roślin zbożowych, w tym pszenicy ozimej, uprawianych w technologii strip-till w podwójnych rzędach i wysiewanych w pojedynczych rzędach po uprawie bezpłużnej wskazują na korzystniejsze wartości tych wskaźników dla wzrostu roślin w uprawie pasowej. Dotyczy to m.in. promieniowania fotosyntetycznie czynnego, wskaźnika ulistnienia roślin (LAI), przewodności szparkowej. Rośliny pszenicy ozimej wysiewane w podwójnych rzędach w pasach uprawianej gleby zawierały również więcej chlorofilu, co wskazywało na ich dobre zaopatrzenie w składniki pokarmowe, głównie azot. W badaniach własnych, ale tylko w doświadczeniu nr 1, nie stwierdzono istotnej zależności zawartości chlorofilu w liściach flagowych od sposobu siewu, a tym samym różnej rozstawy rzędów pszenicy ozimej. W doświadczeniu tym siew dwurzędowy i jednorzędowy pszenicy wykonywano w glebę o homogenicznych warunkach, które uzyskano w wyniku płużnej uprawy roli i przedsiewnego nawożenia. Natomiast w doświadczeniu nr 2. względna zawartość chlorofilu w liściach pszenicy ozimej, której ziarno wraz z nawozem mineralnym wysiewano w podwójnych rzędach bezpośrednio w pasy spulchnianej gleby była o 32,7 jednostki SPAD większa niż w liściach pszenicy wysianej w pojedynczych rzędach po cało powierzchniowej aplikacji nawozów i bezpłużnej uprawie roli.

Korzystne warunki świetlne dla roślin występujących w rzędach o szerszej rozstawie oraz dobre ich odżywienie w wyniku bezpośredniego sąsiedztwa nawozów obok kiełkujących ziaren, mające miejsce po siewie dwurzędowym w technologii strip-till – doświadczenie nr 2, były zapewne głównymi przyczynami wysokich wartości wskaźników produkcyjności roślin i elementów plonowania pszenicy ozimej. Buliński i Niemczyk (2015) wykazali, że w rzędach pszenicy ozimej występujących bezpośrednio w sąsiedztwie wolnych przestrzeni w łanie, powstających w efekcie zakładania ścieżek technologicznych, na każdym mb. występowało o 20 kłosów więcej (28%) niż w łanie. Także w kolejnych rzędach w kierunku wnętrza łanu liczba kłosów była większa o 16%.

W zasiewach pszenicy jarej względne różnice wielkości tej cechy wyniosły odpowiednio 38% i 11%. Wynikiem występowania roślin w sąsiedztwie wolnych przestrzeni, imitujących szerokie międzyrzędzia, była również większa liczba ziaren w kłosie i w konsekwencji plon ziarna. W doświadczeniu własnym nr 1, gdzie w siewie dwurzędowym również występowały szersze międzyrzędzia – 20,6 cm, obok węższych – 10,3 cm, stwierdzono w każdym roku istotnie większą obsadę kłosów pszenicy ozimej niż przy siewie jednorzędowym z równoległymi rzędami o stałej odległości między nimi wynoszącej 10,3 cm. Względna różnica wielkości tej cechy wyniosła jednak tylko 2,4-3,7%, była zatem znacznie mniejsza niż w badaniach wcześniej cytowanych. W doświadczeniu tym nie stwierdzono również korzystnego wpływu siewu dwurzędowego z szerszymi międzyrzędziami na liczbę ziaren w kłosie i masę ziarna z kłosa. Podobnie w doświadczeniu nr 2, w którym maksymalna różnica szerokości międzyrzędzi w siewie jedno i dwurzędowym wynosiła 10,1 cm, siew w podwójnych rzędach spowodował zwiększenie obsady kłosów o 6,6% i nie miał jednocześnie istotnego wpływu na liczbę i masę ziarna z kłosa. Różnica szerokości międzyrzędzi w obu doświadczeniach – około 10,0 cm była zapewne zbyt mała, aby ujawnił się silny efekt brzegowy. Na taki, w doświadczeniach z pszenicą, której poletka rozdzielała nieobsiana ścieżka o szerokości 50 cm wskazują Rajab i in. (2021). Względna różnica liczby kłosów w rzędzie i liczby ziaren w kłosie roślin występujących w rzędach wewnątrz poletek, a rzędach bezpośrednio graniczących z wolną przestrzenią ścieżki wynosiła odpowiednio aż 50,5% i 21,9%. Wobec dużej różnicy wielkości głównych komponentów plonu, również plon ziarna był znacząco, tj. o 73,4%, większy. Natomiast powszechnie stosowane zróżnicowanie rozstawy rzędów w uprawie pszenicy, także w polskich warunkach siedliskowych i agrotechnicznych, mieszczące się w granicach 7,5-30 cm często nie ma istotnego wpływu na jej plonowanie (Chen i in. 2010). Według cytowanych autorów parowanie wody z gleby było tym większe, im większa była rozstawa rzędów jednak w trzech z pięciu lat badań efektywność wykorzystania wody, komponenty plonu i plon ziarna pszenicy ozimej uprawianej w rzędach o rozstawie: 7,5 cm, 15 cm, 22,5 cm i 30 cm nie różniły się istotnie. Mniejsza rozstawa rzędów okazała się korzystna do plonowania pszenicy w warunkach nawadniania i odpowiedniego odżywienia roślin. W badaniach własnych również nie stwierdzono istotnego wpływu sposobu siewu w doświadczeniu nr 1, który wiązał się ze zróżnicowaną szerokością międzyrzędzi – siew dwu- i jednorzędowy po jednakowo (płużnie) wykonanej uprawie roli, na plon pszenicy ozimej. W doświadczeniu nr 2 siew dwurzędowy, w którym obok międzyrzędzi o podobnej szerokości jak w doświadczeniu nr 1 występowały także międzyrzędzia dwukrotnie szersze, spowodował istotne zwiększenie plonu ziarna w każdym z trzech lat badań.

Siew dwurzędowy czy pasowy z relatywnie szerokimi międzyrzędziami pomiędzy sąsiednimi pasami siewnymi staje się coraz częstszym sposobem zwiększania produktywności, produkcyjności i plonowania pszenicy (Babu i in. 2021), zwłaszcza w połączeniu z redukcją płużnej uprawy roli i przy niedoborze wody w glebie. W takich warunkach siew dwurzędowy pszenicy ozimej spowodował

zwiększenie plonu ziarna o 7,9% w porównaniu z siewem rzędowym w rozstawie 30 cm (Zhou i in. 2020). Zgodnie z badaniami Hu i in. (2018) siew dwurzędowy wpłynął korzystnie na wskaźniki produkcyjności łanu pszenicy – LAI, IPAR i komponenty plonu. W konsekwencji plon ziarna był większy o 7,2% niż plon roślin wysianych rzędowo. Z kolei wyniki badań Chen i in. (2021) wskazują, że ten sposób siewu umożliwia zwiększenie obsady kłosów, biomasy nadziemnej roślin i plonu ziarna, jednak jego korzystny wpływ na wzrost i plonowanie zależy od sposobu rozmieszczenia pasów i rzędów siewnych oraz od genotypu roślin i ilości wysiewu. Na istotną reakcję pszenicy ozimej uprawianej pasowo na ilość wysiewu uwagę zwracają Wang i in. (2021). Według autorów gęstość siewu (ilość wysiewu) wpływa na zużycie wody przez rośliny, efektywność wykorzystania azotu, jego translokację z organów wegetatywnych do ziarna, a ostatecznie na plon ziarna. W badaniach własnych siew dwurzędowy wykonywany bezpośrednio w pasy spulchnianej gleby z jednoczesną aplikacją nawozu azotowo-fosforowego przyczynił się do zwiększenia plonu ziarna średnio o 8,9%, a w jednym z trzech lat badań o 11,2% w porównaniu z siewem jednorzędowym po wcześniej wykonanej uprawie cało powierzchniowej – doświadczenie nr 2. Natomiast w doświadczeniu nr 1, w którym była zróżnicowana gęstość siewu, ale jednakowa płużna uprawa roli nie stwierdzono istotnego wpływu sposobu siewu na plon ziarna. W dwóch latach wystąpiła jednak interakcja sposobu siewu z jego gęstością w kształtowaniu plonu. W obu tych latach maksymalny plon ziarna pszenicy ozimej wysiewanej dwurzędowo wystąpił przy mniejszej gęstości siewu, tj. 350 ziaren m^{-2}, a sianej w pojedynczych rzędach przy gęstości 500 ziaren m^{-2}.

Dyskusja o wpływie gęstości siewu (ilości wysiewu) na wzrost i plon roślin, w tym pszenicy ozimej jest złożona i nie prowadzi do jednoznacznych konkluzji. Reakcja roślin na zmianę gęstości siewu w granicach stosowanych w praktyce rolniczej na ogół powoduje istotne zmiany cech morfologicznych, elementów plonowania, plonu ziarna, jak również cech jego jakości. Występowanie powyższych zmian morfologicznych i produkcyjnych oraz ich wielkość zależy jednak od wielu uwarunkowań, m.in. genetycznych, siedliskowych i agrotechnicznych. Wyniki aktualnych badań prezentowanych przez Zheng i in. (2021) oraz Zheng i in. (2022) wskazują, że zróżnicowanie obsady pszenicy w granicach 180 – 300 roślin m^{-2} wpłynęło istotnie, m.in. na: obsadę kłosów, liczbę ziaren w kłosie, plon ziarna, masę tysiąca ziaren, zawartość i jakość białka w ziarnie. Wielkość zmian tych cech zależała jednak od genotypu – odmiana, a także warunków siedliskowych – lata i miejsce badań oraz agrotechnicznych – nawożenie azotem.

Potwierdzenie tych złożonych zależności między optymalną obsadą roślin a warunkami genetyczno-siedliskowo-agrotechnicznymi znajduje się w opracowaniach przeglądowych, np. Bastos i in. (2020). Wyniki takie prowadzą do wniosku, że optymalizacja agrotechniki w zakresie gęstości siewu, ilości wysiewu, zakładanej obsady roślin powinna być poprzedzona badaniami rozpoznawczymi w danych warunkach gospodarowania. W badaniach własnych zróżnicowanie gęstości siewu w doświadczeniu nr 1 w zakresie 200-500 ziaren m^{-2} istotnie zróżnicowało wiele cech pszenicy ozimej, tj.: obsadę roślin i kłosów, wskaźnik

zieloności liści SPAD, długość kłosa, liczbę ziaren w kłosie, masę ziarna z kłosa, plon ziarna i jego jakość, np. masę tysiąca ziaren, zawartość białka i glutenu mokrego, wskaźnik sedymentacji. Wraz ze zwiększeniem gęstości siewu wystąpiło istotne zwiększenie lub tendencja wzrostu obsady kłosów i plonu ziarna, ale zmniejszenie liczby ziaren w kłosie i masy ziarna z kłosa oraz pogorszenie fizycznych i chemicznych cech jakości ziarna. Stwierdzone zależności między cechami zbóż, w tym elementami plonowania, są właściwe dla reakcji tych roślin na zmianę poziomu elementów agrotechniki czy czynników siedliskowych wykazywanych w opracowaniach metodycznych i raportach z badań (Rudnicki 2000, Buczek i Bobrecka-Jamro 2015).

Drugim ważnym celem badań nad pszenicą, oprócz plonu, jest jakość ziarna. Współczesne prace w tym zakresie nakierowane są na kompleksowe poznanie oddziaływania genotypu, agrotechniki i siedliska, w tym zmian w nim zachodzących na cechy fizyczne i chemiczne ziarna, mające wpływ na jego właściwości pod kątem różnego sposobu wykorzystania (Melaku 2019, Wang i Liu 2021). Do elementów agrotechniki, oprócz wyboru odmiany, wpływających w największym stopniu na jakość ziarna pszenicy, zwłaszcza w odniesieniu do biosyntezy białka należą nawożenie i regulowanie warunków wodnych (Peng i in. 2022). W badaniach własnych elementami agrotechniki wnoszącymi zmienność w uprawie pszenicy ozimej były sposób i gęstość siewu – doświadczenie nr 1 oraz sposób siewu związany technologicznie z uproszczoną, bezpłużną uprawą roli i aplikacją nawozów – doświadczenie nr 2. Zróżnicowanie gęstości siewu w doświadczeniu nr 1 w zakresie 200-500 ziaren m^{-2} wpłynęło istotnie zarówno na cechy fizyczne, jak i chemiczne ziarna, w tym: masę tysiąca ziaren i gęstość w stanie zsypnym, zawartość białka i glutenu mokrego, rozpływalność glutenu, wskaźnik sedymentacji. Mimo różnej reakcji pszenicy ozimej w poszczególnych latach badań, średnio w całym ich okresie większej wartości masy tysiąca ziaren oraz zawartości białka i glutenu, a także wskaźnika sedymentacji sprzyjała mniejsza gęstość siewu. Podobnie Melash i in. (2019) stwierdzili, że po zwiększeniu ilości wysiewu pszenicy z 100 kg ha^{-1} do 175 kg ha^{-1} zmniejszyła się zawartość białka i glutenu oraz wartość wskaźnika Zeleny'ego, względny przyrost wielkości tych cech wyniósł odpowiednio o 8,7%, 10,8% i 9,1%. Wpływ gęstości siewu na jakość ziarna pszenicy nie jest jednak tak oczywisty. Mimo silnego wpływu gęstości siewu na krzewienie się pszenicy i tworzenie przez rośliny wielu pędów nie musi to mieć bezpośredniego związku z jakością ziarna pochodzących z kłosów wieńczących te pędy. Gaile i in. (2017) nie stwierdzili bowiem wpływu gęstości siewu pszenicy ozimej w zakresie 300-500 ziaren m^{-2} na zawartość białka, glutenu i skrobi oraz wskaźnik Zeleny'ego, a także na masę tysiąca ziaren mimo analizy ziarna pochodzącego z 6 pędów. Odmienne wyniki wpływu gęstości siewu na jakość ziarna pszenicy ozimej, ale przy większej liczbie wysiewanych ziaren na jednostce powierzchni niż w doświadczeniu własnym, tj. 500 i 650 ziaren m^{-2}, prezentują Zecevic i in. (2014). Według cytowanych autorów zwiększenie, a nie zmniejszenie gęstości siewu, spowodowało zwiększenie masy tysiąca ziaren, zawartości glutenu mokrego i wskaźnika Zeleny'ego. Tak różny wpływ

gęstości siewu na jakość ziarna pszenicy, zwłaszcza związaną z zawartością i właściwościami białka może wynikać ze zróżnicowanych warunków odżywienia roślin azotem w poszczególnych badaniach i ujawniającym się tzw. efektem rozcieńczenia. Jaskulska (2010) w dyskusji wyników badań własnych wskazuje, że w przypadku tworzenia się plonu, np. zbóż w warunkach niedoboru składników pokarmowych, zwłaszcza azotu, ograniczona jest biosynteza białka, co prowadzi do małej jego zawartości w ziarnie. Według Jones i Olson-Rutz (2012) w warunkach niedoboru azotu jego zawartość w ziarnie spada wraz ze wzrostem plonu. Zwiększenie dostępności azotu powoduje zarówno wzrost plonu, jak i zawartości białka w ziarnie, a dalsze zwiększenie jego podaży pozwala osiągnąć maksymalną zawartość protein.

Jakość ziarna pszenicy może być kształtowana również przez sposób siewu i jego interakcyjne oddziaływanie z gęstością. W doświadczeniu własnym nr 2 sposób siewu wpłynął istotnie tylko na zawartość białka i glutenu, a w doświadczeniu nr 1 jedynie rozpływalność glutenu zależała od współdziałania sposobu i gęstości siewu. W badaniach Twizerimana i in. (2020) także nie stwierdzono istotnego wpływu trzech sposobów siewu pszenicy ozimej na większość ocenianych cech jakości ziarna, np. zawartość białka ogółem, glutenu mokrego, albumin i globulin oraz wskaźnik sedymentacji, chociaż czynnik ten zmienił zawartość prolamin i glutenin. Natomiast Chauhdary i in. (2016) wykazali, że największą masę tysiąca ziaren miała pszenica zasiewana po 4 rzędy na zagonach w najmniejszej z porównywanych ilości wysiewu – 100 kg ha^{-1}. Według wyników licznych badań, m.in. Mohammed i in. (2013) elementem agrotechniki najsilniej oddziałującym na jakość ziarna pszenicy jest nawożenie azotem. W badaniach własnych większa zawartość białka i glutenu w ziarnie pszenicy wysiewanej dwurzędowo niż jednorzędowo w doświadczeniu nr 2 mogła wynikać z większej dostępności azotu aplikowanego w momencie siewu tylko w pasy uprawianej gleby i miejsce rozwoju systemu korzeniowego oraz większej ilości granul nawozu stosowanego pogłównie gromadzących się w bezpośrednim sąsiedztwie roślin, co wynika z specyficznego kształtowania powierzchni gleby przez maszynę użytą do założenia doświadczenia (Jaskulska i Jaskulski 2020). Na lepsze zaopatrzenie roślin pszenicy wysianej w podwójnych niż pojedynczych rzędach w azot świadczy większa wartość wskaźnika zieloności SPAD liści flagowych, czyli bezpośrednio przed głównym okresem kształtowania się składu chemicznego ziarna.

Siew dwurzędowy będący elementem technologii uprawy pasów gleby, aplikacji nawozów i wysiewu nasion w trakcie jednego przejazdu wielofunkcyjnej maszyny bez wcześniejszych zabiegów agrotechnicznych od zbioru przedplonu jest jednym z innowacyjnych rozwiązań w polowej produkcji roślinnej nakierowanej na osiągnięcie zarówno celów produkcyjnych, jak i środowiskowych (Jaskulska i in. 2020b). Jednoczesne wykonywanie kilku czynności agrotechnicznych pozwala ograniczyć zarówno czasochłonność, jak i nakłady zużywanego paliwa, co w przypadku porównywanych w doświadczeniu nr 2 technologii wyniosło odpowiednio 69,0% i 61,0%. Mniejsze nakłady przy jednocześnie

większym plonie wpłynęły korzystnie na ostateczny efekt ekonomiczny technologii uprawy pszenicy wysiewanej w podwójnych rzędach w pasach uprawianej gleby w porównaniu z siewem tradycyjnym w pojedynczych rzędach po uprawie bezpłużnej cało powierzchniowej. Wynik taki jest w pełni zgodny z badaniami nad efektami ekonomicznymi uproszczeń uprawy roślin polowych z wykorzystaniem pasowej uprawy roli (Cociu 2010). O atrakcyjności ekonomicznej i energetycznej technologii uprawy pasowej i siewu świadczą dalsze badania (Šarauskis i in. 2012, Carman i in. 2021) nad jej różnymi wariantami.

7. WNIOSKI

1. Skutki siewu wykonywanego po klasycznej, płużnej uprawie roli dla dalszego wzrostu, plonowania i jakości ziarna pszenicy ozimej nie zależały od jego sposobu, mimo stwierdzonego istotnego wpływu na pojedyncze cechy roślin w niektórych latach. Sposób siewu związany technologicznie z uproszczoną uprawą roli i aplikacją nawozów mineralnych wpłynął natomiast na równomierność obsady roślin, odżywienie roślin azotem, obsadę kłosów, plon ziarna oraz zawartość w nim białka i glutenu mokrego.
2. Gęstość siewu pszenicy ozimej w zakresie 200-500 ziaren m^{-2}, oprócz obsady roślin, wpłynęła istotnie w okresie badań na elementy plonowania, plon oraz zawartość białka i glutenu w ziarnie. Reakcja roślin nie była jednak na ogół prostą zależnością pomiędzy zwiększaniem lub zmniejszaniem gęstości siewu a zmianą wielkości poszczególnych cech i nie ujawniała się w każdym roku. Ponadto niektóre z cech, np. plon ziarna, były kształtowane przez gęstość siewu współzależnie z jego sposobem.
3. Efektem siewu dwurzędowego, mimo występowania szerszych międzyrzędzi, w porównaniu z siewem jednorzędowym w analogicznych warunkach glebowych po płużnej uprawie roli była większa obsada kłosów w każdym roku badań, a zarazem brak negatywnego wpływu na pozostałe cechy biometryczne roślin.
4. Stosując dużą gęstość siewu pszenicy ozimej – 500 ziaren m^{-2} korzystniejszym dla plonu ziarna był tradycyjny siew rzędowy w rozstawie 10,3 cm. Natomiast w przypadku mniejszych gęstości siewu, tj. 200 ziaren m^{-2} i 350 ziaren m^{-2} ujawniła się tendencja większego plonu ziarna po siewie dwurzędowym z odległością rzędów w sąsiednich pasach siewnych wynoszącą 20,6 cm.
5. Niezależnie od sposobu siewu po płużnej uprawie roli większej wartości fizycznych cech jakości ziarna, jak masa tysiąca ziaren, a także większej zawartości białka i glutenu w ziarnie oraz wskaźnikowi sedymentacji sprzyjały mniejsze gęstości siewu – 200 ziaren m^{-2} i 350 ziaren m^{-2}.
6. Siew dwurzędowy z pasową uprawą roli w porównaniu z siewem rzędowym po uprawie bezpłużnej cało powierzchniowej spowodował zwiększenie obsady roślin pszenicy ozimej w latach z niedoborem opadów w okresie siewu i wschodów oraz poprawił jej równomierność w obrębie pola niezależnie od roku badań.
7. Rośliny występujące w zróżnicowanym przestrzennie łanie, w rzędach o rozstawie 12 cm i 24,4 cm charakteryzowały się większą obsadą kłosów, a w jednym roku także większą masą ziarna z kłosa niż rośliny wysiewane w rzędach o regularnej rozstawie co 14,3 cm.

8. W warunkach ograniczenia klasycznej płużnej uprawy roli siew dwurzędowy w połączeniu z uprawą pasową okazał się elementem agrotechniki zwiększającym plon ziarna średnio w trzyletnim okresie o 8,9%. Największy przyrost plonu – 11,2% w stosunku do plonu pszenicy wysiewanej w pojedynczych rzędach po bezpłużnej uprawie roli miał miejsce w roku z bezopadowym kwietniem i suchych czerwcu i lipcu – 3-krotnie mniejsza suma opadów niż przeciętnie w wieloleciu.
9. Efektem siewu dwurzędowego w pasy spulchnianej gleby z jednoczesną aplikacją nawozu azotowo-fosforowego była większa wartość wskaźnika zieloności liścia flagowego oraz większa zawartość białka i glutenu w ziarnie w porównaniu z roślinami występującymi z pojedynczych rzędach.
10. Zastosowanie siewu dwurzędowego jako elementu pasowej technologii uprawy pszenicy ozimej umożliwił ograniczenie nakładów czasu pracy i paliwa oraz poprawę efektu ekonomicznego o blisko 800 zł ha^{-1} w odniesieniu do siewu jednorzędowego po bezpłużnej cało powierzchniowej uprawie roli.
11. Brak negatywnego wpływu siewu dwurzędowego na cechy biometryczne, elementy plonowania, plon i jakość ziarna pszenicy ozimej wysiewanej po klasycznej płużnej uprawie roli, a jednocześnie większy plon ziarna o lepszej jakości uzyskany przy mniejszych nakładach w warunkach uproszczonej uprawy roli upoważnia do zalecania tego sposobu siewu jako elementu technologii uprawy pszenicy ozimej polegającej na jednoczesnym głębokim spulchnianiu pasów gleby, aplikacji nawozów i wysiewie ziarna.

8. PIŚMIENNICTWO

1. Abbas G., Khan M. Q., Jamil M., Tahir M., Hussain F., 2009a. Nutrient uptake, growth and yield of wheat (Triticum aestivum L.) as affected by zinc application rates. Int. J. Agric. Biol. 11, 389-396.
2. Abbas G., Ali M.A., Azam M., Hussain I., 2009b. Impact of planting methods on wheat grain yield and yield contributing parameters. The J. Ani. Plant Sci. 19 (1), 30-33.
3. Abichou M., de Solan B., Andrieu B., 2019. Architectural response of wheat cultivars to row spacing reveals altered perception of plant density. Front. Plant Sci. 10:999. doi: 10.3389/fpls.2019.00999
4. Ahmed, A., Swati M.S., Muhammad F., 1995. Comparative performance of F6 population in wheat (Triticum aestivum L.). Sarhad J. Agric., 11, 631-634.
5. Ali, M., Ali L., Waqar M.Q.,Ali M. A., 2012. Bed planting: a new crop establishment method for wheat (Triticum aestivum L.) in cotton-wheat cropping system of southern Punjab. Int. J. Agric. Appli. Sci. 4, 8-14.
6. Ali S., Xu M., Ahmad I., Kamran M., Dong Z., Cai T., Jia Q., Ren X., Zhang P., Jia Z., 2017. Planting models and deficit irrigation strategies to improve wheat production and water use efficiency under simulated rainfall conditions. Front. Plant Sci.8, 1408.
7. Alzueta I., Abeledo L. G., Mignone C. M., Miralles D. J., 2012. Differences between wheat and barley in leaf and tillering coordination under contrasting nitrogen and sulfur conditions. Eur. J. Agron. 41, 92-102.
8. Arif M., Tahir J., Akram M., Aslam M., Chaudhry M.A., 1997. Effect of seed rates and drilling techniques on wheat yield. J. Agric. Res., 35(5), 303-308.
9. Artyszak A., 2006. Technologia produkcji pszenicy ozimej. Wyd. I. Przedsiębiorstwo Wydawnicze Rzeczpospolita S.A., Warszawa.
10. Artyszak A., Kucińska K., Niemczyk H., 2010. Pszenica ozima. Pszenica jara. W: Produkcja roślinna. Wyd. REA, część II, Warszawa, 43, 36-37.
11. Atlas klimatu Polski, 2005, Warszawa, IMGW.
12. Ayaz S., Shah P., Sharif H.M., Ali I., 1999. Yield, yield components and other important agronomic traits of wheat as affected by seed rate and planting geometry. Sarhad J. Agric., 15, 255-262.
13. Babu, U., Shukla, A. K., Kumar, A., Meena, R. K., 2021. Effect of sowing methods and nutrients on growth and yield of wheat (Triticum aestivum L.): A Review. Curr. Rese. Agri. Far. 2(2), 18-22.

14. Bakht J., Qamer Z., Shafi M., Akber H., Rakhman M., Ahmad N., 2007. Response of different wheat varieties to various row spacing. Sarhad J Agric. 23(4), 840-845.
15. Balkcom K.S., Arriaga F.J., Balkcom K.B., Boykin D.L., 2010. Single- and twin-row peanut production within narrow and wide strip tillage systems. Agron. J. 102, 507-512.
16. Balwinder-Singh A., Eberbach P.L., Humphreys E., Kukal S.S., 2011. The effect of rice straw mulch on evapotranspiration, transpiration and soil evaporation of irrigated wheat in Punjab, India. Agric. Water Manag. 9, 1847-1855.
17. Bandaru V., Stewart B.A., Baumhardt R.L., Ambati S., Robinson C.A., Schlegel A., 2006. Growing dryland grain sorghum in clumps to reduce vegetative growth and increase yield. Agron. J. 98, 1109-1120.
18. Barberi P., 2002. Weed management in organic agriculture: are we addressing the right issues? Weed Research, 42, 177-193.
19. Bastos L.M., Carciochi W., Lollato R.P., Jaenisch B.R., Rezende C.R., Schwalbert R., Vara Prasad P.V., Zhang G., Fritz A.K., Foster C., Wright Y., Young S., Bradley P., Ciampitti I.A., 2020. Winter wheat yield response to plant density as a function of yield environment and tillering potential: A Review and Field Studies. Front. Plant Sci. 11, 54.
20. Bąk B. 2003. Warunki klimatyczne Wielkopolski i Kujaw. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie 3 (9), 11-38.
21. Bhunia S.R., Verma I.M., Arif M., Gochar R., Sharma N.C., 2015. Effect of crop geometry, drip irrigation and bio-regulator on growth, yield and water use efficiency of wheat (Triticum aestivum L.). Int. J. Agr. Sci. 11, 45-49.
22. Bishnoi O. P., Taneja K. D., Rao V. U. M., Singh R., Niwas R., 1991. Microclimate of wheat (Triticum aesativum L) crop in different row a orientations. Ind. J. of Agric. Sci., 61 (2), 116-119.
23. Blackwell P., Pottier S., Bowden B., 2006. Response to winter drought by wheat on shallow soil with low seeding rate and wide row spacing. In 'Agribusiness Crop Updates. Perth, Western Australia'. (Department of Agriculture Perth, WA), 57-62.
24. Borkar, L. S., Khawale V.S. Raut P. B., Patil T. S., Kolte H. S., 2008. Studies on spacing and nitrogen management under system of rice intensification (SRI). J. of S. and C., 18(2), 438-441.
25. Bowden B., Scanlan C., 2004. Rethinking row spacing? Rethink crop nutrition! In 'GRDC Research Update for Farmers – Western Region. (Department of Agriculture Perth, WA), 23-34.
26. Braun H. 1978. Tramlines in corn. International Pest Control. 5, 16-18.
27. Braun H., Schöne J., 1973. Intensiver Getreidebau mit Fahrgassen. DLG-Mitt. 33, 936-938.

28. Brennan E.B., Leap J.E., 2014. A comparison of drill and broadcast methods for establishing cover crops on beds Hort Science, 49, 441-447.
29. Brunotte J., Sommer C., 1993. Fahrgassen im Zuckerrübenanbau. Landtechnik 48 (8-9), 468-470.
30. Buczek J., Bobrecka-Jamro D., 2015. Reakcja pszenicy populacyjnej i mieszańcowej na zróżnicowaną ilość wysiewu. Frag. Agron. 32(3), 7-16.
31. Budzyński W., Szempliński W., 2003. Rośliny zbożowe. W: „Szczegółowa Uprawa Roślin" AR, Wrocław, 33-132.
32. Buliński J., Niemczyk H., 2004. Changes in soil physical properties in a three-year experiment on sugar beet cultivation. Ann. Warsaw Agricult. Univ.- SGGW, Agricult.,45, 3-9.
33. Buliński J., Niemczyk H., 2009. Changes in some physical properties of soil during vegetation period of winter rape. Ann. Warsaw Agric. Univ. – SGGW, Agriculture 53, 5-10.
34. Buliński J., Niemczyk H., 2015. Assessment of border effect in wheat cultivation with tramlines. Ann. Warsaw Agric. Univ.- SGGW Agriculture (65 Agric. Forest Eng).
35. Carman K., Cıtıl E., Marakoglu T., 2021. Energy use efficiency of strip tillage systems for corn silage production in Middle Anatolia. JAST 23(2), 293-306.
36. Chandel N. S., Tewari V.K., 2014. Engineering innovation in developing rural load carrier operated jute seed drill for farm workers. African Journal of Agricultural Research, 9(8), 797-805.
37. Chauhdary H., Kaila V., Rather S., Badiyal A., Hussain W., Jamwal N., Mahato A., 2014. Wheat. Pages 1 – 26 in: Alien Gene Trans fer in Crop Plants, Volume 2. A. Pratap J. Kumar, eds. Springer New York.
38. Chauhdary J.N., Khan U.D., Shah S.H.H., Shahid M.A., Arsalan M., 2016. Effect of sowing methods and seed rates on wheat yield and water productivity. Quality Assurance and Safety of Crops & Foods 8(2), 267-272.
39. Chen C., Karnes N., Dave W., Malvern W., 2008. Hard red spring wheat response to row spacing, seeding rate, and nitrogen. Agron. J. 100, 1296-1302.
40. Chen S., Zhang X., Sun H., Ren T., Wang, Y., 2010. Effects of winter wheat row spacing on evapotranspiration, grain yield and water use efficiency. Agric. Water Manag. 97, 1126-1132.
41. Chen T., Zhu, Y., Dong, R., Ren M., He J., Li F.,2021. Belt Uniform sowing pattern boosts yield of different winter wheat cultivars in southwest China. Agriculture 11, 1077.

42. Chhokar R.S., Sharma R.K., Gill S.C., Kumar R., 2017. Influence of tillage, cultivars, seed rate and planting geometry on wheat yield. Journal of Wheat Research 9(2), 19-22.
43. Ciesielska A., Niemczyk H., Radecki A., Suwara I., Wysmułek A., 2008. Siew i pielęgnacja roślin zbożowych. W: Podstawy rolnictwa. Wyd. REA, Warszawa, 129.
44. Cociu A.I., 2010. Tillage system effects on input efficiency of winter wheat, maize and soybean in rotation. Rom. Agric. Res. 27, 81-89.
45. Cook, R.J., Ownley, B.H., Zhang, H., Vakoch, D. 2000. Influence of paired-row spacing and fertilizer placement on yield and root diseases of direct-seeded wheat. Crop Sci. 40, 1079-1087.
46. Cox, W.J., Cherney J.H., 2011. Growth and yield responses of soybean to row spacing and seeding rate. Agronomy Journal 103,123-128.
47. Culbreath A.K., Tillman B.L., Gorbet D.W., Holbrook C.C., Nischwitz C., 2008. Response of new field-resistant peanut cultivars to twin-row pattern or infurrow applications of phorate for management of spotted wilt. Plant Dis. 92, 1307-1312.
48. Dagash Y. M. I., Syed A., Khalil N. A., 2014. Effect of nitrogen fertilization, sowing methods and sowing dates on yield and yield attributes of wheat (Triticum aestivum L). Universal Journal of Plant Science, 2, 108-113.
49. Das T.K., Yaduraju N.T., 2011. Effects of missing-row sowing supplemented with row spacing and nitrogen on weed competition and growth and yield of wheat. C. Past. Sci., 62, 48-57.
50. Deswarte J. C., Gouache D., 2011. Semis de blé tendre: des pertes de rendements avec des inter-rangs larges. Perspect. Agricoles 376, 53-56.
51. Domsch H., 1993. Dauerhafte Fahrspurbereichte? Neue Landw. 2 ,72-74.
52. Dubis B., Budzyński W., 2006. Reakcja pszenicy ozimej na termin i gęstość siewu. Acta. Sci. Pol., Agricultura 5(2), 15-24.
53. Ebelhar M. W., Clark D.R., 2010. Nitrogen management and seeding rates for twin-row and single-row corn production. Proc. Am. Soc. Agron. 105-111.
54. Eberbach P., Pala M., 2005. Crop row spacing and its influence on the partitioning of evapotranspiration by winter-grown wheat in Northern Syria. Plant Soil, 268, 195-208.
55. Eissa A.M., Shehab T.M., Dawood A.M. 1995. Row spacing and seeding rate effects on yield and yield components of spring wheat in Al -Qassim Region, Saudi Arabia. Assiut J Agric. Sci. 26, 25-36.
56. Fahong W., Xuquing W., Sayre K.D., 2003. Comparison of conventional flood irrigated, flat planting with furrow irrigated, raised bed planting for winter wheat in China. F. C. Res. 87, 35-42.

57. Falkowski J., Kostrowicki J., 2001. Geografia rolnictwa świata, Warszawa: Wydawnictwa Naukowe PWN.
58. FAO. 2015. Wheat production and yield worldwide. http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E.
59. Fasoula, D.A., Fasoula V.A., 1997. Competitive ability and plant breeding. In Plant Breeding Reviews; John Wiley & Sons, Inc.: New York, NY, USA, 89-138.
60. Fayed E.S.H.M., Mowafy S.A.H.E., Saleh M.E., Salama F.S.M.G., 2018. Effect of wheat (Triticum aestivum L.) cultivars, row spacing and weed control methods on root growth. J. Agron., 17, 198-208.
61. Freeman K.W., Girma K., Teal R.K., Arnall D.B., Klatt A., Raun W.R., 2007. Winter wheat grain yield and grain nitrogen as influenced by bed and conventional planting systems. J. Plant Nutri. 30, 611-622.
62. Freeze D. M., Bacon R. K., 1990. Row-spacing and seeding-rate effects on wheat yields in the Mid-South. J. Prod. Agric. 3, 345-348.
63. Gaile Z., Ruza A., Kreita D., Paura L., 2017. Yield components and quality parameters of winter wheat depending on tillering coefficient. Agron. Res. 15, 79-93.
64. Gärtig W., Böning H., Peitz B., 1980. Fahrspuren in Getreide zur Qualitätssicherung bei der Applikation von Agrochemikalien. Feldwirtschaft, 4, 179-182.
65. Ghafari S.R., Dass A., Hamayoun H, Mangal M. Q., Omran A.H., 2017. Effect of row spacing on different wheat (Triticum aestivum L.) varieties in semi-arid region of Kandahar, Int. J. A. Res.; 3(7), 93-97.
66. Ghane E., Mostaffa Z., Behrouz F.M., Landii E., 2011. Effect of water and quality of different planting methods on wheat yield. Com. S. Sci. P. Anal., 42(4), 369-380.
67. Grabiński J., Jaśkiewicz B., Podolska G., Sułek A., 2007. Terminy siewu w uprawie zbóż. Wybrane elementy technologii produkcji roślinnej. Studia i Raporty IUNG-PIB, 9, 37-45.
68. Gozubenli H., Kilinc M., Sener O., Konuskan O., 2004. Effects of single and twin row planting on yield and yield components in maize. Asian J. Plant Sci. 3, 203-206.
69. Grzebisz W., 2011. Technologia uprawy pszenicy ozimej. W: Produkcja roślinna. cz. III, Wyd. II, Warszawa, 62-65.
70. Hadjichristodoulou A., 1993. Edge effects on yield, yield components and other physiological characteristics in cereals and oil seed crops. J.agric. Sci., Camb., 120, 7-12.
71. Hanckok J.F., 2004. Plant evolution and the origin of crop species. Cambridge (Massachusetts): CABI Publishing. 313.

72. Helmke F., Peters R., Koch H., 1994. Fahrgassen in Kartoffeln. Kartoffelbau, 45 (9), 375-378.
73. Herbek J., Murdock L., 2009. Planting and drill calibration. A comprehensive guide to wheat management in Kentucky 4, 20-24.
74. Hickey L., Wilkinson P., Knight C., Godwin I., Kravchuk O., Aitken E., 2011. Rapid phenotyping for adult-plant resistance to stripe rust in wheat. Plant Breed.131, 54-61.
75. Hiltbrunner J., Liedgens M., Stamp, P., Streit B., 2005. Effects of row spacing and liquid manure on directly drilled winter wheat in organic farming. Eur. J. Agron. 22, 441-447.
76. Hoad S., Russell G., Lucas M., Bingham I., 2001. The management of wheat, barley, and oat root systems. In 'Advances in agronomy'. Academic Press: San Diego, 193-246.
77. Hozayn M., Shahawy T.A., Sharara F.A., 2012. Implication of crop row orientation and row spacing for controlling weeds and increasing yield in wheat (*Triticum aestivum* L.). Australian Journal Basic Applied Sci 6(3), 422-427.
78. https://www.notowania.kpodr.pl/userfiles/kalkulacje_rolnicze_2020/Wst%C4%99p%20i%20Metodyka%20Kalkulacje%20Rolnicze.pdf (dostęp 15-02-2021)
79. Hu H.N., Lu C.Y., Wang Q.J., Li H.W., He J., Xu D.J., Wang X., 2018. Influences of wide-narrow seeding on soil properties and winter wheat yields under conservation tillage in North China Plain. Int J Agric & Biol Eng. 11(4), 74-80.
80. Hussain I., Khan M.A., Ahmad K., 2003. Effect of row spacing on the grain yield and the yield component of wheat (*Triticum aestivum* L.). Pakistan J. Agro. 2(3),153-159.
81. Hussain I., Khan E.A., Hassan G., Gul J., 2017. Integration of high seeding densities and criss cross row planting pattern suppresses weeds and increases grain yield of spring wheat (*Triticum aestivum* L.). J. Environ. Biol. 38(5).
82. Hussain I., Khan M.A., Khan H., 2010. Effect of seed rates on the agrophysiological traits of wheat. Sarhad J. Agric., 26, 169-176.
83. Hussain M., Waqas-ul-Haq M., Farooq S., Jabran K., Farooq M., 2016. The impact of seed priming spacing on the productivity of different cultivars of irrigated wheat under early season drought. Exp. Agric. 52, 477-490.
84. Idnani L.K., Kumar A., 2012. Relative efficiency of different irrigation schedules for conventional, ridge and raised bed seeding of wheat (*Triticum aestivum* L). Indian J. Agron. 57, 148-151.
85. Iqbal N., Akbar N., Ali M., Sattar M., Ali, L., 2010. Effect of seed rate and row spacing on yield and yield components of wheat (*Triticum aestivum* L.). J. Agri. Res. (Lahore), 48(2), 151-156.

86. Jadho S.L., Nalamwar R.U., 1993. Response of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes to planting methods and manual weeding. Indian J. A. 38, 382-385.
87. Januszewska-Klapa K., 2016. Tendencje zmian klimatycznego ryzyka uprawy roślin w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego. Rozprawa doktorska. UTP Bydgoszcz, 1-125.
88. Jaradat A.A., 2018. Statistical modeling of phenotypic plasticity under abiotic stress in (*Triticum durum* L.) and (*Triticum aestivum* L). Genotypes. Agronomy 8, 139.
89. Jaskulska I. 2010. Wpływ nawożenia rekultywacyjnego na jakość ziarna pszenicy ozimej. Pam. Puł., 152, 85-94.
90. Jaskulska I. Gałązka A. Jaskulski D., 2019. Strip-till as a means of decreasing spatial variability of winter barley within a field scale. Acta Agric. Scand. B-SP, 69, 516-527.
91. Jaskulska I., Gałęzewski L., Piekarczyk M., Jaskulski D., 2018. Strip-till technology-A method for uniformity in the emergence and plant growth of winter rapeseed (*Brassica napus* L.) in different environmental conditions of Northern Poland. Ital. J. Agron. 13, 194-199.
92. Jaskulska I., Jaskulski D., 2020. Strip-till one-pass technology in central and eastern Europe: A MZURI Pro-Til Hybrid Machine Case Study. Agronomy 10, 925.
93. Jaskulska I., Jaskulski D., Różniak M., Radziemska M., Gałęzewski L., 2020a. Zonal tillage as innovative element of the technology of growing winter wheat: A field experiment under low rainfall conditions. Agriculture 10, 105.
94. Jaskulska I., Romaneckas K., Jaskulski, D., Wojewódzki P., 2020b. A strip-till one-pass system as a component of conservation agriculture. Agronomy 10, 2015.
95. Jeffers D.L., Beuerlein J., 2001. Arial and other broadcast methods of seeding wheat. Ohio State University Extension 1:4.
96. Jeschke M., 2010. Twin row corn production. Agronomy Library, Pioneer Hi-Bred, Inc., Johnston, IA, 32-37.
97. Johansen C., Haque M. E., Bell R. W., Thierfelder C., Esdaile R. J., 2012. Conservation agriculture for small holder rainfed farming: Opportunities and constraints of new mechanized seeding systems. Field Crops Res. 64-70.
98. Jones B., O'Halloran N., 2006. Wide rows and crop yield. In 'Farming the Mallee with GPS guidance. 'Department of Primary Industries, Victoria: Walpeup, Victoria. 1-23.
99. Jones C., Olson-Rutz K., 2012. Practices to increase wheat grain protein. In Montana State University Extension; EBO206; Montana State University: Bozeman, MT, USA.

100. Jończyk K., 1998. Czynniki agrotechniczne najsilniej różnicujące plon pszenicy ozimej. Rocz. AR Poznań CCCVII, Roln. 52, 43-49.
101. Kader M.A., Senge M., Mojid M.A., Nakamura K., 2017. Mulching type-induced soil moisture and temperature regimes and water use efficiency of soybean under rain-fed condition in Central Japan. Int. Soil Water Conserv. Res. 5, 302-308.
102. Kapanigowda M., Schneider M., Stewart B.A., 2010. Dryland grain sorghum tillering: clumps vs. uniform panting geometries. Crop Improv. 24, 271-280.
103. Kaur J., Singh G., Singh A., 2014. Competitiveness of wheat cultivars under spacing and weed levels. Ind. J. Ecol., 41, 357-359.
104. Kazi G.A., Mahmood R.T., A.M. Kazi A.M., 2012. Molecular and morphological diversity with biotic stress resistance of high 1000 -grain weight synthetic hexaploid wheats. Pak. J. Bot., 44, 1021-1028.
105. Kearney T., Marsh B., Wright S., Jackson L., 2006. Part 3. Seedbed preparation sowing and residue management small grains production manual. Univ. California Div.Agri. Nat. Res. CA
106. Khan A., Arif M., Shah A., Ali S., Hussain Z., Khan S., 2007. Evaluation of planting methods for grain yield and yield components of wheat. Agric. 23(3), 561-563.
107. Khan, H., M.A. Khan, I. Hussain I., Khan M.Z., 2000. Effects of sowing rates and methods on weed control and yield of wheat. Pak. J. Biol. Res., 3, 829-832.
108. Kilic H., 2010. The effect of planting methods on yield and yield components of irrigated spring durum wheat varieties. Sci Res and Essays 5(20), 3063-3069.
109. Kirby E.J., 1993. Effect of sowing depth on seedling emergence, growth and development in barley and wheat. Field Crops Res. 35, 101-111.
110. Koger C., 2007. Effect of soybean row spacing on yield: twin-row vs. narrow- and wide-rows. 61. in. Proceedings of the 10th annual national conservation systems cotton and rice conference, Houston, TX. January 29-30. Perryville, MO Mid America Farm Publications.
111. Korbas M., Mrówczyński M., (red.) 2014. Metodyka integrowanej produkcji pszenicy ozimej i jarej. Państwowa Inspekcja Ochrony Roślin i Nasiennictwa, Warszawa, 90.
112. Kościelniak W., 1999. Uprawa pszenicy ozimej przy małej ilości wysiewu. Pam. Puł. 118, 207-215.
113. Kościelniak W., Pyziak K., 1998. Nowoczesna Technologia Uprawy Pszenicy. ODR Łosiów, 38.

114. Kristensen L., Olsen J., Weiner J., 2008. Crop density, sowing pattern, and nitrogen fertilization effects on weed suppression and yield in spring wheat. Weed Sci., 56, 97-102.
115. Krężel R., Parylak D., Zimny L., 1999. Zagadnienia uprawy roli i roślin. AR Wrocław.
116. Krężel R., Sobkowicz P., 1996. The effect of sowing rates and methods on winter triticale grown on light soil. Roczniki Nauk Rolniczych. Seria A Produkcja Roślinna, 111 (3/4), 69-78.
117. Krishnareddy S.R., Stewart B.A., Payne W., Robinson C.A., 2009. Grain sorghum tillerproduction in clump and uniform planting geometries. J. C. Impr 24, 1-11.
118. Kumar M., Alam S.P., Ali N., 2013. Response of wheat (*Triticum aestivum* L). Varieties to Sowing Dates. J. Res. (BAU) 25(1), 56-59.
119. Kumar N., Niwas R., Mani J.K., Chander S., 2012. Influence of direction of sowing on growth and yield of barley (*Hordeum vulgare* L.). Crop Res 43(1), 20-23.
120. Kuśmierek-Tomaszewska R., Dudek S., Żarski J., Januszewska-Klapa K., 2018. Temporal variability of drought in field crops in the region of Kujawsko-Pomorskie, Poland. Res. Rural Dev. 2, 62-68.
121. Lafond G. P., 1994. Effects of row spacing, seeding rate and nitrogen on yield of barley and wheat under zero-till management. Can. J. Plant Sci. 74, 703-711.
122. Lafond G. P., Gan Y., 1999. Row spacing and seeding rate studies in no-till winter wheat for the Northern Great Plains. J. Prod. Agric. 12, 624-629.
123. Lal J., Rao V.U.M., Bishnoi O.P., 1991. Radiation climate of wheat crop as affected by method of planting. Haryana Agric. Univ. J. Res.21 (4), 280-286.
124. Li Q.Q., Zhou X.B., Chen Y.H., Yu S.L., 2010. Seed yield and quality of winter wheat in different planting patterns under deficit irrigation regimes. Plant, Soil and Environment, 56,482-487.
125. Lindsey L. E., Lentz E., Baik B. K., 2016. Row width influences wheat yield, but has little effect on wheat quality. Crop, Forage, and Turfgrass Management,2.
126. Lipiński A. J., 2006. Studia nad procesem rozpraszania nasion zbóż siewnikami mechanicznymi. Inżynieria rolnicza nr 1(76). ISSN 1429-7264.
127. Lityńska-Zając M., Wasylikowa K., 2005. Przewodnik do badań archeobotanicznych. Seria: Vademecum Geobotanicum. Wydawnictwo Sorus. 87-89.
128. Liu T., Wang Z., Cai T.,2016. Canopy apparent photosynthetic characteristics and yield of two spike-type wheat cultivars in response to row spacing under high plant density. PLoS ONE 11(2): e0148582.

129. Maddonni G. A., Martinez-Bercovich J., 2014. Row spacing, landscape position, and maize grain yield. Int. J. Agron.1-12.
130. Majeed A, Abbasi M.K., Hameed S., Imran A., Rahim N., 2015. Isolation and characterization of plant growth-promoting rhizobacteria from wheat rhizosphere and their effect on plant growth promotion. Front Microbiol.,6.
131. Markowski P., Rawa T., 2013. Wpływ wybranych parametrów siewu na kształtowanie przestrzeni życiowej roślin pszenicy. Inżynieria Rolnicza, Z3(146), 263-273.
132. Melaku T.A., 2019. Environmental Impact on Processing Quality of Wheat Grain. Int. J. Food Sci. Nutr. Diet. 1-8.
133. Melash A.A., Mengistu D.K., Aberra D.A., Tsegay A., 2019. The influence of seeding rate and micronutrients foliar application on grain yield and quality traits and micronutrients of durum wheat. J Cereal Sci 85, 221-227.
134. Michalski T., 2004. Przyrodniczo-rolnicze podstawy uprawy pszenicy. W: Pszenica – Chemia i Technologia. Red. H. Gąsiorowski. PWRiL, Poznań, 66-102.
135. Mohammad-Akbar M., Khan M., Kakar K., 2000. Effect of row orientation on the yield of maize varieties under Peshawar conditions. Sarhad J. Agric., 16(2) ,117-121.
136. Mohammed S., Blaser B.C., Stewart B.A., 2012. Planting geometry and plant population affect dryland maize grain yield and harvest index. Crop Improv. 26(1), 130-139.
137. Mohammed Y.A., Kelly J., Chim B.K., Rutto E., Waldschmidt K., Mullock J., Torres G., Desta K.G., Raun W., 2013. Nitrogen fertilizer management for improved grain quality and yield in winter wheat in Oklahoma. J. Plant Nutr. 36, 749-761.
138. Mrówczyński M., 2013. Agrotechnika pszenicy. Siew. W: Integrowana ochrona upraw rolniczych – zastosowanie integrowanej ochrony. Tom II, PWRiL, Poznań, 15-16.
139. Mrówczyński M, Pruszyński S. (red)., 2006. Integrowana produkcja rzepaku. IOR Poznań: 69, 72-73.
140. Naresh R. K., Tomar S. S., Purushottam S., Singh S. P., Ku-mar D., Pratap B., Kumar V., Nanher A. H., 2014. Testing and evaluation of planting methods on wheat grain yield and yield contributing parameters in irrigated agro-ecosystem of western Uttar Pradesh, India. African J. Agric. Res. 9, 176-182.
141. Nielsen S.K., Munkholm L.J., Lamandé M., Nørremark M., Edwards G.T.C., Green O. 2018. Seed drill depth control system for precision seeding. Comput. Electron. Agric., 144, 174-180.
142. Nielsen S.K., Norremark M., Green O.,2016. Sensor and control for consistent seed drill coulter depth. Comput. Electron. Agric., 127, 690-698.

143. Niemczyk H., 1993. Zdolność zbóż do wyrównania plonu z nieobsianej powierzchni ścieżek przejazdowych. Cz. I. Pszenica ozima i jara, Rocz. Nauk Roln. A 109 4, 9-19.
144. Niemczyk H., 1996. Wpływ ścieżek przejazdowych na plonowanie zbóż. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 439, 237-246.
145. Niemczyk H., 2004. Znaczenie ścieżek przejazdowych w ograniczaniu niekorzystnego oddziaływania kół agregatów rolniczych na właściwości fizyczne gleby i plonowanie roślin. Annales UMCS, Ser. E 59(2), 913-922.
146. Niemczyk H., 2007. Wpływ przejazdów agregatów rolniczych po polu na właściwości fizyczne gleby. Fragm. Agron. 24(1), 190-198.
147. Niemczyk H., 2009. Zdolność rzepaku ozimego do wyrównywania plonu z nieobsianej powierzchni ścieżek technologicznych. Fragm. Agron. 26, 128-136.
148. Niemczyk H., Buliński, J., 2012. Wpływ ścieżek przejazdowych na plon roślin uprawnych. Inżynieria Rolnicza 2 (136), 277-286.
149. Niemczyk H., Radecki A., 1993a. Zdolność zbóż do wyrównania plonu z nieobsianej powierzchni ścieżek przejazdowych. Cz. II Jęczmień ozimy i jary. Rocz. Nauk Roln., A-109 (4), 21-30.
150. Niemczyk H., Radecki A., 1993b. Zdolność zbóż do wyrównania plonu z nieobsianej powierzchni ścieżek przejazdowych. Cz. III Żyto i owies. Rocz. Nauk Roln. A 109 (4), 31-40.
151. Novacek M.J., Mason S.C., Galusha T.D., Yaseen M., 2013. Twin-rows minimally impact irrigated maize yield, morphology and lodging. Agron. J. 105, 268-276.
152. Ogunlela V. B., Chude V. O., Negedu, S., 2000. Response of two irrigated wheat (Triticum aestivum L.) varieties to row spacing nitrogen supply: yield, yield components and nitrogen uptake. Tropenlandwirt, 101(2), 165-180.
153. Orzech K., Marks M., Dragońska E., Stępień A., 2009. Plonowanie pszenicy ozimej w zależności od warunków pogodowych i różnych sposobów uprawy gleby średniej. Annales UMCS. Nr 64, 122-129.
154. Pacewicz K., 2000. Efekt brzeżny w doświadczeniach z pszenicą jarą i jęczmieniem jarym. Rozpr. dokt., AR Szczecin.
155. Pandey B.P., Basnet K.B., Bhatta M.R., Sah S.K., Thapa T.B., Kande T.P., 2013. Effect of row spacing and direction of sowing on yield and yield attributing characters of wheat cultivated in Western Chitwan, Nepal. Agricultural Sciences. 4(7), 309-316.
156. Pandey I.B., Kumar K., 2005. Response of wheat to seeding methods, and weed management, Ind. J. Agron., 50, 48-51.

157. Panwar R.S., Malik R.K., Balyan R.S., Singh D.P., 1995. Effect of isoproturon sowing method and seed rate on weeds and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). Ind. J. Agric. Sci., 65, 109-111.
158. Parihar G.N., Singh R., 1995. Response of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes to seed rate and sowing method under Western Rajasthan conditions. Indian J. of Agron 40(1), 97-98.
159. Pedersen C.A., 1997. Oversigt over Landsforsogene 1996. Landbrugets Radgiv-ningscenter Landskontoret for Planteavl. Skiejby, Dania. 123.
160. Pedersen P., Lauer J.G., 2002. Influence of rotation sequence on the optimum corn and soybean plant population. Agron. J. 94, 968-974.
161. Peltzer S.C., Hashem A., Osten V.A., Gupta M.L., Diggle A.J., Riethmuller G.P., Douglas A., Moore M., Koetz E.A., 2009. Weed management in wide-row cropping systems: a review of current practices and risks for Australian farming systems. Crop and Pasture Sci. 60, 395-406.
162. Peng Y., Zhao Y., Yu Z., Zeng J., Xu D., Dong J., Ma W. 2022. Wheat quality formation and its regulatory mechanism. Front. Plant Sci. 13:834654
163. Podleśny J., Podleśna A., 2003. Wpływ różnych poziomów wilgotności gleby na rozwój i plonowanie dwóch różnych genotypów łubinu białego (*Lupinus albus* L.). Biuletyn IHAR, 228, 315-322.
164. Podolska G., 1998. Efektywność agrotechnicznych oddziaływań w wykorzystaniu potencjału plonotwórczego pszenicy. Ogólnopolska Konferencja Naukowa. Biologia plonowania, agrotechnika i wykorzystanie ziarna pszenicy. IUNG Puławy, 10, 38-50.
165. Podolska G., 2005. Pszenica ozima. W: „Rynki i Technologie Produkcji Roślin Uprawnych" (J. Chotkowski, red.). Wieś Jutra, Warszawa, 99-115.
166. Podolska G., Wyzińska M., 2011. Reakcja nowych odmian pszenicy ozimej na gęstości termin siewu. Polish J. Agronom. 6: 44-51.
167. Ptaszyński S., 1984. Wytyczanie ścieżek przejazdowych w uprawie zbóż. Mechanizacja Rolnictwa 11, 10-13.
168. Radwan F.I., Gomma M.A., Nasser M.A., Kandil E.E., Lamlon S.F., 2013. Effect of sowing methods and bio-organic fertilizeron growth, yield and yield components of wheat *(Triticum aestivum* L.). Res. J. Agric. and Bio. Sci. 9(1), 70-78.
169. Raj S., Singh D., Rao V.U., 1992. Effect of date of sowing and row spacing on the yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). Crop Res. (Hisar)5(2), 199-206.
170. Rajab S., Mohamed M., El-Nahas M., 2021. Effect of experimental unit border on yield and yield components in bread wheat experiments. Scientific Journal of Agricultural Sciences, 3(2), 161-170.

171. Ranaivoson, L.; Naudin, K.; Ripoche, A.; Affholder, F.; Rabeharisoa, L.; Corbeels, M. Agro-ecological functions of crop residues under conservation agriculture. A review. Agron. Sustain. Dev. 2017, 37, 26.
172. Rasmussen I.S., Dresboll D.B., Kristensen K.T., 2015. Winter wheat cultivars and nitrogen (N) fertilization – Effects on root growth, N uptake efficiency and N use efficiency. Euro. J. Agron. 6, 38-49.
173. Reddy K.N., Boykin J.C., 2010. Weed control and yield comparisons of twin- and single-row glyphosate resistant cotton production systems. Weed Technology 24(2), 95-101.
174. Riethmuller G.P., 2004. Row spacing and stubble effect on wheat yield and ryegrass seed set, Agribusiness Crop Updates – Cereals.' Perth, WA. (Department of Agriculture, WA.
175. Robles M., Ciampitti I.A., Vyn T.J., 2012. Dynamics of maize plant responses to a twin-row spatial arrangement at multiple plant densities. Agron. J. 104, 1747-1756.
176. Roszkowski A., Kogut Z. 2001. Technika rolnicza XXI wieku. Część VII. Siew nasion. Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej. Nr 11. 2-5.
177. Rudnicki F., 2000. Wyznaczanie wpływu poszczególnych elementów plonowania na różnice plonów między obiektami doświadczalnymi. Fragm. Agron., 3(67), 53-65.
178. Rudnicki F., Gałęzewski L., 2006. Efekty oddziaływań brzegowych w doświadczeniach z owsem wysiewanym w równych gęstościach. Biul. IHAR 239, 73-83.
179. Rudnicki F., Gałęzewski L., 2008a. Efekty brzegowe w doświadczeniach z mieszankami owsa i łubinu żółtego. I. Zasięg efektu brzegowego Acta Sci. Pol. Agricultura (4), 81-86.
180. Rudnicki F., Gałęzewski L., 2008b. Efekty brzegowe w doświadczeniach z mieszankami owsa i łubinu żółtego. II. Reakcje owsa i łubinu w mieszankach i siewach czystych na sąsiedztwo ścieżek w doświadczeniu. Acta Sci. Pol. Agricultura (4), 87-94.
181. Rudnicki F., Gałęzewski L., 2008c. Efekty brzegowe w doświadczeniach z mieszankami owsa i łubinu żółtego. III. Wpływ efektu brzegowego na dokładność oceny plonu w doświadczeniach. Acta Sci. Pol. Agricultura (4), 95-103.
182. Rudnicki F., Wasilewski P., Urbanowski S., 1996. Reakcje pszenicy ozimej i żyta na ilość i rozkład opadów a celowość ich nawadniania na glebie lekkiej. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 438, 33-41.
183. Sadras V.O., Rebetzke G.J., 2013. Plasticity of wheat grain yield is associated with plasticity of ear number. Crop Pasture Sci. 64(3), 234-243.
184. Sato K., Takahashi K., 1983. An analysis of the border effect in the rice paddy fields. Japanese Journal of Crop Science 52, 168-176.

185. Schillinger W.F., 2011. Rainfall impacts winter wheat seedling emergence from deep planting depths. Agron J 103,730-734.
186. Schillinger W.F., Wuest S.B., 2014. Wide row spacing for deep- furrow planting of winter wheat. Field Crops Res. 168, 57-64.
187. Scott B.J., Podmore C.M., Burns H.M., Bowden P.I., McMaster C.L., 2013. Developments in stubble retention in cropping systems in southern Australia. Report to GRDC on Project DAN 00170. In: C Nichollsand EC (Ted) Wolfe (eds.). Department of Primary Industries, Orange NSW, 103.
188. Senger M., Zagonel J., Ferreira C., de Souza A.C., Zardo-Filho R., 2015. Influence of wheat populations arrangement on growth characteristics and grain yield. African J. Agri. Res., 10(53), 4937-4944.
189. Sharma S, Tomar S.S., Joshi N., Sharma A., Sharma A.K., Galav A., 2018. Effect of various row spacing on wheat (Triticum aestivum L.) varieties in black cotton soil in south-east Rajasthan. Int. J. Adv. Sci. Res. Management. (1),155-157.
190. Shekhar C., Singh D., Singh A.D., Nepalia V., Choudhary J., 2014. Weed dynamics, productivity and soil health under different tillage and weed control practices in wheat (*Triticum aestivum* L.) – maize (Zea mays) cropping sequence. Indian J. Agron. 59(4), 561-567.
191. Shuting D., Changhao H., Rongqi G., 1993. Rates of apparent photosynthesis, respiration and dry matter accumulation in maize canopies. Biol. Plant. 35, 273-277.
192. Sikander K., Tanveer I. H., Sohail M., Kissana N.S., Abbas S.G., 2003. Effects of different planting methods on yield and yield components of wheat. Asian J. P. Sci. 2, 811-813.
193. Singels, A., Smit M. A., 2009. Sugarcane response to row spacing-induced competition for light. Field Crops Research, 113, 149-155.
194. Singh C.B., Hashim M., Kumar A., Raj R., Pandey U.C., 2016. Performance of improved wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties under various planting techniques in north-eastern plain zone of India. J. Community Mobilization Sustain. 11, 145-149.
195. Singh G.O.P., Singh R.A., Yadav RS, Singh, Singh B.B., 1994. Effect of seeding methods, seed rate and fertility levels on yield and economics of late sown wheat after rice in flood prone areas. Ann Agric Res.1994; 15, 448-451.
196. Singh K., Kaur S., 2019. Effect of different methods of sowing and row orientation on growth, yield and quality of wheat (*Triticum aestivum* L.). J. Pharmacog. Phytochem. 8(3), 1047-1050.
197. Singh R.B., Srivastava R.K., 1991. Influence of different spacing on the yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). New Agriculture. 1, 147-148.

198. Smith D.B., Rainbow R.W., Faulkner M., Chigwidden S.J., Braunach-Mayer E.T., 1995. Row spacing – Do wider seed rows reduce yield? In 'Workshop on tillage systems, rotations, nutrition and associated root diseases. Adelaide, South Australia'. 40-41.
199. Solie J.B., Solomon S.G.J., Self K.P., Peeper T.F., Koscelny J.A., 1991. Reduced row spacing for improved wheat yields in weed free and weed-infested fields Transactions of the ASAE (USA) 34, 1654-1660.
200. Soratto R.P., Lima E.V., Mauad M., Boas R.L.V., Nakagawa J., 2003. Millet seeds mixed with phosphate fertilizers. Scientia Agricola. 60, 3, 573-579.
201. Spink J.H., Semere D.L., Sparkes J.M., Whaley M.J., Foulkers R.W., Clare R.K., Scott T., 2000. Effect of sowing date on plant density of winter wheat. Annl. Appl. Biol., 137, 179-188.
202. Stahl L., Coulter J., Bau D., 2009. Narrow-row corn production in Minnesota. Online. www.extension.umn.edu/distribution/cropsystems/M1266.html.
203. Stawiana-Kosiorek A., Gołaszewski J., Załuski D., 2003. Konkurencyjność roślin w doświadczeniach hodowlanych z grochem siewnym. I. Oddziaływania brzegowe. Biul. IHAR 226/227/2, 425-439.
204. Stawiana-Kosiorek A., Gołaszewski J., Załuski D., 2007. Efekty konkurencyjności roślin pszenżyta ozimego w doświadczeniach polowych [Competition effects of winter triticale plants in field trials]. Biul. IHAR 243, 97-107.
205. Stewart B.A., 2009. Manipulating tillage to increase stored soil water and manipulating plant geometry to increase water-use efficiency in dry land areas. Crop Improv. 23, 71-82.
206. Suryawanshi P. K., Patel J. B., Kumbhar N. M., 2013. Yield and economics of wheat (*Triticum aestivum* L.) influence by SWI techniques with varying nitrogen levels. Inter. J. Agri. Sci., 9(1), 305-308.
207. Szmigiel A., 1993. Wpływ kierunku siewu na plonowanie zbóż Fragm. Agron. 3, 107-108.
208. Szmigiel A., 1997a. Wpływ kierunku siewu na plonowanie zbóż jarych i zawartość białka w ziarnie. Zesz. Prob. Post. Nauk Rol. 439, 329-332.
209. Szmigiel A., 1997b. Wpływ kierunku siewu na plonowanie pszenżyta jarego. Zesz. Nauk. AR Szczecin 175 Rolnictwo 65, 447-450.
210. Świętochowski B., Jabłoński B., Krężel R., Radomska M., 1996. Ogólna uprawa roli i roślin. Wyd. 4 popraw. PWRiL, Warszawa.
211. Šarauskis E., Buragiene S., Romaneckas K., Sakalauskas A., Jasinskas A., Vaiciukevicius E., Karayel D., 2012. Working time, fuel consumption and economic analysis of different tillage and sowing systems in Lithuania. Eng. Rural Dev. 11, 52-59.
212. Teich A.H., Welacky T., Hamill A., Smid A., 1993. Row-spacing and seed-rate effects on winter wheat in Ontario. Can. J. Plant Sci. 73, 31-35.

213. Thapa T., Chaudhary P., Ghimire S., 2011. Increasing household food security through system of wheat intensification (SWI) techniques. Mercy Crops Nepal.

214. Thapa S., Stewart B.A., Xue Q., Pokhrel P., Barkley T., Bhandari M.,2016. Growing corn in clumps reduces canopy temperature and improves microclimate. Crop Improv. 30(6) 614-631.

215. Thapa S., Stewart B.A., Xue Q., Chen Y., 2017. Manipulating plant geometry to improve microclimate, grain yield, and harvest index in grain sorghum. PLoS ONE, 12,3, 1-14.

216. Thorsted M. D., Olesen J. E., Weiner J., 2006. Mechanical control of clover improves nitrogen supply and growth of wheat in winter wheat white clover intercropping. Euro. J. Agron., 24, 2, 149-155.

217. Twizerimana A., Niyigaba E., Mugenzi I., Ngnadong W.A., Li C., Hao T.Q., Shio B.J., Hai J.B., 2020. The combined effect of different sowing methods and seed rates on the quality features and yield of winter wheat. Agriculture 10, 153.

218. Vijayakumar M., Ramesh S., Prabhakaran N. K., Subbian P., Chandrasekaran B., 2006. Influence of system of rice intensification (SRI) practices on growth characters, days to flowering growth analysis and labour productivity of rice. Asian J. of Plant Sci., 5(6), 984-989.

219. Wang Z., Khan S., Sun M., Ren A., Lin W., Ding P., Noor H., Yu S., Feng Y., Wang Q, Gao Z., 2021. Optimizing the wheat seeding rate for wide-space sowing to improve yield and water and nitrogen utilization. Int. J. Plant Prod. 15, 553-562.

220. Wang X, Liu F., 2021. Effects of elevated CO2 and heat on wheat grain quality. Plants (Basel) 0(5), 1027.

221. Wang Z.K., Zhao X.N., Wu P.T., Gao Y., Yang Q., Shen Y.Y., 2017. Border row effects on light interception in wheat/maize strip intercropping systems. Field Crops Research 214, 1-13.

222. Waraich E.A., Ahmad R., Saifullah S. A., Ahmad A., 2010. Impact of water and nutrient management on the nutritional quality of wheat. J. of Plant Nutri., Vol. 33, 5, 2010, 640-643.

223. Weber R., Biskupski A., 2007. Wpływ gęstości siewu oraz terminu siewu na elementy struktury plonu i plon odmian pszenicy ozimej w warunkach gleby lekkiej. Acta Sci. Pol., Agricultura 6 (3), 77-85.

224. Weede O., Zimmermann S., Hein B., Wörn H., 2011. Evaluation of seed throwing optimization meta heuristic in terms of performance and parallelizability, In IEEE 2011 computation world: Future Computing, Rome, 92-99.

225. Weiner J., Griepentrog H., Kristensen L., 2001. Suppression of weed by spring wheat (*Triticum aestivum* L.) increases with crop density and spatial uniformity. J. Appl. Ecol., 38, 784-790.

226. Wolf H., 2000. Gassenstatt Spuren. DLZ – Agrarmagazin 51 (2), 46-50.
227. Wolny S., Tys J., 2008. Kodeks Dobrej Praktyki Produkcji Rzepaku. Wyd. PSPO Warszawa, I, 18-19.
228. Yadav R.K., Ram S.K., Prasad P., Yadav R.A., Dawson J.,2014. To study the economics of irrigated wheat (Triticum aestivum L.) as influenced by crop geometry, row spacing and weed management practices Res. Environ. Life Sci. 7(4), 233-236.
229. Zawora T., Ziernicka-Wojtaszek A., 2005. Wpływ pogody i klimatu na działalność agrotechniczną i plonowanie roślin uprawnych na obszarze Polski. Problemy Ekologii, 9 (5), 269-271.
230. Zecevic V., Boskovic J., Knezevic D., Micanovic D., 2014. Effect of seeding rate on grain quality of winter wheat. Chil. J. Agric. Res. 74, 23-28.
231. Zhang J., Sun J., Duan A., Wang J., Shen X. Liu X., 2007. Effects of different planting patterns on water productivity and yield performance of winter wheat in the Huang-Huai-Hai plain of China. Agric. Water Manag., 92, 41-47.
232. Zheng T. F., Chen Y. L., Jin G. R., Xiao J. L., Yang G.R., Wen Y., 2013. Effect of number and inter space of planting rows on population and individual quality of strip-drilling wheat. Acta Agron. S., 39(5), 885-895.
233. Zheng B., Jiang J., Wang L., Huang M., Zhou Q., Cai J., Wang X, Dai T., Dong J., 2022. Reducing nitrogen rate and increasing plant density accomplished high yields with satisfied grain quality of soft wheat via modifying the free amino acid supply and storage protein gene expression. Journal of Agricultural and Food Chemistry 70 (7), 2146-2159.
234. Zheng B., Zhang X., Wang Q., Li W., Huang M., Zhou Q., Cai J., Wang X., Cao W., Dai T., Jiang D., 2021. Increasing plant density improves grain yield, protein quality and nitrogen agronomic efficiency of soft wheat cultivars with reduced nitrogen rate. Field Crops Res. 267, 108-145.
235. Zhou X.B., Wang G.Y., Yang L., Wu H.Y., 2020. Double-double row planting mode at deficit irrigation regime increases winter wheat yield and water use efficiency in north China plain. Agronomy, 10, 1315.

Spis rysunków

Rys. 1. Średnia obsada roślin po wschodach w latach badań (2016-2019)..... 28
Rys. 2. Średni wskaźnik zieloności liścia flagowego – SPAD w latach badań (2016-2019).....29
Rys. 3. Średnia długość źdźbła w latach badań (2016-2019)..... 31
Rys. 4. Średnia obsada kłosów w latach badań (2016-2019)..... 32
Rys. 5. Średnia długość kłosa w latach badań (2016-2019)..... 34
Rys. 6. Średnia liczba ziarna w kłosie w latach badań (2016-2019)..... 35
Rys. 7. Średnia masa ziarna z kłosa w latach badań (2016-2019) 37
Rys. 8. Średni plon ziarna w latach badań (2016-2019) 39
Rys. 9. Średnia masa tysiąca ziaren w latach badań (2016-2019)..... 40
Rys. 10. Średnia gęstość ziarna w stanie zsypnym w latach badań (2016-2019)..... 42
Rys. 11. Średnie wyrównanie ziarna w latach badań (2016-2019) 43
Rys. 12. Średnia zawartość białka w ziarnie w latach badań (2016-2019) 45
Rys. 13. Średnia zawartość glutenu mokrego w ziarnie w latach badań (2016-2019)... 46
Rys. 14. Średnia rozpływalność glutenu ziarna w latach badań (2016-2019)..... 48
Rys. 15. Średni wskaźnik sedymentacji w latach badań (2016-2019) 49
Rys. 16. Średnia wielkość liczby opadania w latach badań (2016-2019) 51
Rys. 17. Równomierność przestrzenna obsady roślin po wschodach w latach 2016-2019 (2-rz – siew dwurzędowy po uprawie pasowej; 1-rz – siew jednorzędowy po uprawie bezpłużnej)..... 52
Rys. 18. Współczynnik zmienności obsady roślin po wschodach w latach 2016-2019. 53

Spis tabel

Tabela 1. Właściwości gleby (0-20 cm) w doświadczeniu nr 1 22
Tabela 2. Właściwości gleby (0-20 cm) w doświadczeniu nr 2 23
Tabela 3. Średnie miesięczne temperatury powietrza (°C) i sumy opadów (mm) w rejonie i okresie badań – według Stacji Meteorologicznej w Mochełku 23
Tabela 4. Obsada roślin po wschodach w kolejnych latach badań (szt. m^{-2}) 27
Tabela 5. Wskaźnik zieloności liścia flagowego w kolejnych latach badań (SPAD) 29
Tabela 6. Długość źdźbła w kolejnych latach badań (cm) 30
Tabela 7. Obsada kłosów w kolejnych latach badań (szt. m^{-2}) 32
Tabela 8. Długość kłosa (cm) 33
Tabela 9. Liczba ziaren w kłosie (szt.) 35
Tabela 10. Masa ziarna z kłosa (g) 36
Tabela 11. Plon ziarna ($t \cdot ha^{-1}$) 38
Tabela 12. Masa tysiąca ziaren (g) 40
Tabela 13. Gęstość ziarna w stanie zsypnym (kg hl^{-1}) 41
Tabela 14. Wyrównanie ziarna (%) 43
Tabela 15. Zawartość białka w ziarnie (%) 44
Tabela 16. Zawartość glutenu mokrego w ziarnie (%) 46
Tabela 17. Rozpływalność glutenu ziarna (mm) 47
Tabela 18. Wskaźnik sedymentacji (ml) 49
Tabela 19. Liczba opadania (s) 50
Tabela 20. Obsada roślin po wschodach (szt. m^{-2}) 51
Tabela 21. Wskaźnik zieloności liścia flagowego (SPAD) 53
Tabela 22. Długość źdźbła (cm) 54
Tabela 23. Obsada kłosów (szt. m^{-2}) 54
Tabela 24. Liczba ziaren w kłosie (szt.) 55
Tabela 25. Masa ziarna z kłosa (g) 55
Tabela 26. Plon ziarna (t ha^{-1}) 56
Tabela 27. Masa tysiąca ziaren (g) 56
Tabela 28. Gęstość ziarna w stanie zsypnym (kg hl^{-1}) 56
Tabela 29. Wyrównanie ziarna (%) 57
Tabela 30. Zawartość białka w ziarnie (%) 57
Tabela 31. Zawartość glutenu mokrego w ziarnie (%) 58
Tabela 32. Rozpływalność glutenu ziarna (mm) 58
Tabela 33. Wskaźnik sedymentacji (ml) 59
Tabela 34. Liczba opadania (s) 59
Tabela 35. Zużycie paliwa (l ha^{-1}) 59
Tabela 36. Nakład czasu pracy (min ha^{-1}) 60
Tabela 37. Efekt ekonomiczny (zł ha^{-1}) zróżnicowany przez sposób siewu 60

SIEW DWURZĘDOWY JAKO ELEMENT TECHNOLOGII UPRAWY PSZENICY OZIMEJ (*Triticum aestivum* L.)

Streszczenie

Zalecana rozstawa rzędów w uprawie pszenicy wynosi najczęściej od kilku do kilkunastu centymetrów, chociaż w zależności od warunków siedliskowych i agrotechnicznych, rzędy tej rośliny rozmieszczane są w większej odległości. W uprawie zbóż próbuje się także innych niż klasyczny rzędowy sposobów siewu, w tym siew dwurzędowy. Zatem uzasadnionym jest sprawdzenie w warunkach agrosiedliskowych Polski wpływu takiego przestrzennego rozmieszczenia materiału siewnego na cechy morfologiczne, elementy plonowania oraz plon i jakość ziarna zbóż w doświadczeniach poletkowych, jak również w warunkach łanowych, zwłaszcza w uproszczonych technologiach uprawy roli i siewu.

W przeprowadzonych badaniach założono, że rozmieszczenie roślin w podwójnych rzędach z szerokim międzyrzędziem pomiędzy parami tych rzędów, umożliwi wystąpienie efektu brzegowego w postaci korzystnych zmian wielkości elementów plonowania, plonu i cech jakości ziarna. Wielkość tych zmian może jednak zależeć od gęstości siewu, gdyż wraz z jej zwiększeniem wzrasta zagęszczenie roślin w rzędzie, co może prowadzić do narastania konkurencji wewnątrzgatunkowej. Uzyskanie nawet plonu nie mniejszego i ziarna nie gorszej jakości, niż w tradycyjnym siewie rzędowym poprzedzonym uproszczoną cało powierzchniową uprawą roli należy uznać za wynik korzystny. Możliwość zastosowania tej metody siewu w technologii pasowej uprawy roli pozwali bowiem ograniczyć zużycie paliwa, skrócić czas pracy i ograniczyć presję na środowisko.

Hipotezę zweryfikowano w oparciu o dwa doświadczenia polowe wykonane w latach 2016-2019. Pierwsze zlokalizowano w stacji badawczej w Mochełku (53°21′83″N; 17°87′22″E) należącej do Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy (Politechnika Bydgoska). Badano w nim wpływ siewu dwurzędowego i jednorzędowego po klasycznej, płużnej uprawie roli na wzrost i plonowanie pszenicy ozimej w zależności od gęstości siewu.

Czynnikami doświadczalnymi i ich poziomami były:
I czynnik (A) – sposób siewu: siew dwurzędowy i siew jednorzędowy
II czynnik (B) – gęstość siewu: 200 ziaren·m^{-2}, 350 ziaren·m^{-2} i 500 ziaren·m^{-2}.

Drugie doświadczenie zlokalizowano w gospodarstwie rolnym w Śmielinie (53°09′04″N;17°29′11″E), gmina Sadki. W jednoczynnikowym eksperymencie łanowym porównywano siew dwurzędowy pszenicy ozimej po pasowej uprawie roli z siewem rzędowym po bezpłużnej uprawie cało powierzchniowej.

Celem głównym badań było określenie wpływu siewu dwurzędowego z szerokim międzyrzędziem pomiędzy parami rzędów na wzrost, plonowanie, jakość ziarna oraz elementy organizacyjno-ekonomiczne uprawy pszenicy ozimej. Cele szczegółowe zakładały poznanie i ocenę efektów występowania roślin pszenicy w podwójnych rzędach i ich porównanie z efektami tradycyjnego siewu rzędowego przy różnej jego gęstości i sposobie uprawy roli.

Wyniki doświadczenia polowego oraz laboratoryjne analizy materiału roślinnego pozwalają stwierdzić, że sposób siewu związany technologicznie z uproszczoną uprawą roli i aplikacją nawozów mineralnych wpłynął na równomierność obsady roślin, odżywienie roślin azotem, obsadę kłosów, plon ziarna oraz zawartość w nim białka i glutenu mokrego. Gęstość siewu pszenicy ozimej w zakresie 200-500 ziaren m^{-2}, wpłynęła istotnie na elementy plonowania, plon oraz zawartość białka i glutenu w ziarnie. Efektem siewu dwurzędowego, w porównaniu z siewem jednorzędowym w analogicznych warunkach glebowych po płużnej uprawie roli była większa obsada kłosów w każdym roku badań, a zarazem brak negatywnego wpływu na pozostałe cechy biometryczne roślin. Niezależnie od sposobu siewu po płużnej uprawie roli większej wartości fizycznych cech jakości ziarna, jak masa tysiąca ziaren, a także większej zawartości białka i glutenu w ziarnie oraz wskaźnikowi sedymentacji sprzyjały mniejsze gęstości siewu – 200 ziaren m^{-2} i 350 ziaren m^{-2}. W warunkach ograniczenia klasycznej płużnej uprawy roli siew dwurzędowy w połączeniu z uprawą pasową okazał się elementem agrotechniki zwiększającym plon ziarna średnio w trzyletnim okresie o 8,9%. Największy przyrost plonu – 11,2% w stosunku do plonu pszenicy wysiewanej w pojedynczych rzędach po bezpłużnej uprawie roli miał miejsce w roku z bezopadowym kwietniem i suchymi czerwcem i lipcem (3-krotnie mniejsza suma opadów niż przeciętnie w wieloleciu). Zastosowanie siewu dwurzędowego jako elementu pasowej technologii uprawy pszenicy ozimej pozwoliło ograniczyć nakłady czasu pracy i paliwa oraz poprawić efekt ekonomiczny o blisko 800 zł ha^{-1} w odniesieniu do siewu jednorzędowego po bezpłużnej cało powierzchniowej uprawie roli. Brak negatywnego wpływu siewu dwurzędowego na cechy biometryczne, elementy plonowania, plon i jakość ziarna pszenicy ozimej wysiewanej po klasycznej płużnej uprawie roli, a jednocześnie większy plon ziarna o lepszej jakości uzyskany przy mniejszych nakładach w warunkach uproszczonej uprawy roli upoważnia do zalecania tego sposobu siewu jako elementu technologii uprawy pszenicy ozimej polegającej na jednoczesnym głębokim spulchnianiu pasów gleby, aplikacji nawozów i wysiewie ziarna.

DOUBLE-ROW SEEDING AS AN ELEMENT OF WINTER WHEAT CULTIVATION TECHNOLOGY (*Triticum aestivum* L.)

Summary

The recommended row spacing in wheat cultivation is usually from a few to several centimetres, although it depends on the habitat and agrotechnical conditions, the rows of this plant are spaced at a greater distance. In the cultivation of cereals, there are trials of using other methods of sowing than the classic one, including double-row sowing. Therefore, it is justified to check in agro-habitat conditions of Poland the impact of such spatial distribution of seeds for the morphological features, yielding elements, as well as the yield and quality of cereal grain in experimental fields. It is also justified in field conditions, especially in simplified cultivation and sowing technologies.

In the conducted research it was assumed that the distribution of plants in double-rows with inter-row between the pairs of these two rows will allow to occur the marginal effect in the form of favourable changes in the size of yielding elements, field and grain quality. The size of these changes however may depend on the sowing density of plants in a row increases, which may lead to an increase in intra-species competition. Obtaining even a field of now worse quality than in traditional row sowing, preceded by a simplified full-surfaced tillage should be considered as a beneficial result. The possibility of using this method of sowing the technology of strip tillage allows to reduce fuel consumption, shorten the working time and reduce the pressure on the environment.

The hypothesis was verified on the basis of two fields experiments carried out in 2016-2019. The first one was located on the research station in Mochelek (53°21'83"N; 17°87'22"E) belonging to the University of Science and Technology in Bydgoszcz. The study investigated the effect of double-row sowing after classic plow tillage on the growth and fielding of winter wheat, depending on the sowing density.

The experimental factors and their levels were:

– factor I (A) – method of sowing: double-row and single-row sowing;
– factor II (B) – sowing density: 200 grains per m^2, 350 grains per m^2 and 500 grains per m^2.

The second experiment was located on a farm in Smielin (53°90'04"N; 17°29'11" E), Sadki commune. In a one-factor field experiment, double-row sowing of winter wheat after strip tillage was compared with row seeding fter full-area cultivation without ploughing. The main aim of the research was to determine the effect of double-row sowing with a wide inter-row spacing between pairs of rows on growth, field, grain quality and organisational and economic elements of winter wheat cultivation. The specific objectives were to understand

and evaluate the effect of wheat plant production in doble-row and to compare them with the effects of conventional row sowing at different densities and tillage methods. The result of the field experiment and laboratory analysis of the plant material show that the method of sowing, technologically related to the simplified tillage and the application of mineral fertilisers, influence the uniformity of the plant density, plant nitrogen nutrition, the number of wheatears, grain fields and its protein and wet gluten content. The sowing density of winter wheat in the range of 200-500 grains per m^2 significantly influence on the field elements, yield as well as protein and gluten content in the grain. The effect of double-row sowing, as compared to single-row sowing, similarly as soil conditions after plow tillage, was a great number of ears in each year of study and at the same time it had no negative impact on other biometric features of plants. Regardeles sof the method of sowing after plow tillage, greater value of the physical characteristics of grain quality, such as the weight of thousands grains as well as higher protein and gluten content in the grain and sedimentation index lower sowing densities were beneficial – 200 grains m^2 and 350 grains m^2. In the conditions of limiting the classic plow tillage, double-row sowing in combination with strip tillage turned out to be an element of agrotechnics increasing the grain field over a three-period an average by 8,9%. The highest increase in the field – 11,2 % in relation to the yield of wheat sown in single rows after no – till cultivations took place in the year with no rain in April and dry June (rainfall 3 times lower than the average in the multiannual period). The use of double-row sowing as an element of winter wheat cultivation technology allowed to reduce labour and fuel expenditure and improve the economic effect by nearly 800 PLN zloties/m^2 to single-row sowing after full-surface, ploughless cultivation. No negative impact on double-row sowing on biometric feature, Fielding elements, field and grain quality of winter what, sown after classic plow tillage and, at the same time, the increase of grain better quality, obtained with lower inputs in conditions of simplified tillage, authorised to recommend this method of deep softening of soilstrips, fertilisers applications and seed sowing.